

OPTIMIZAÇÃO DAS PERDAS TÉRMICAS PELOS ELEMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO

NUNO MIGUEL DA SILVA BROCHADO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Professor Doutor Vasco Peixoto de Freitas

JUNHO DE 2009

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais e meu Irmão

À Sónia

À Catarina

A essência do conhecimento consiste em aplicá-lo, uma vez possuído

Kung-Fu-Tse

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas por toda a disponibilidade e material facultados e ainda pelo apoio e incentivo sempre demonstrados ao longo deste trabalho.

Aos meus pais por toda a força e apoio que me foram transmitidos tanto nesta fase como ao longo de todo o curso.

Ao meu irmão pela vontade que sempre demonstrou em ajudar-me em tudo o que estava ao seu alcance e pela paciência que sempre evidenciou ao ter-me como companhia no cantinho de estudo.

À Sónia pela sua amabilidade, força, disponibilidade para ajudar e compreensão especialmente neste último momento do curso.

À Catarina pela sua eterna e incondicional preocupação em que este meu trabalho fosse concretizado bem como pela enorme força e entusiasmo que, a cada momento, me foram transmitidos e sem os quais tudo seria muito mais difícil.

À Rosário e à Cristina pelo apoio e preocupações que sempre demonstraram, especialmente quando as coisas não corriam da melhor forma.

A toda a família e amigos que sempre me apoiaram desde o início do meu percurso académico.

Aos meus colegas José Rolim, Pedro Borges e Jorge Lopes por todo o companheirismo demonstrado durante o curso.

A todos muito obrigado.

RESUMO

O Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (DL 80/2006) prevê uma metodologia de cálculo para as perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno utilizando valores de coeficientes de transmissão térmica lineares. Esta postura tem-se relevado pouco precisa para a análise térmica dos edifícios, nomeadamente na verificação das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e, em especial, no caso dos edifícios apenas com pavimento térreo ou então com uma grande área opaca em contacto com o solo.

No presente trabalho, é efectuada uma análise às metodologias propostas para este tipo de cálculo térmico em Espanha e em França, além de Portugal. É ainda considerada a norma ISO 13370 que contém todo o texto normativo de referência para estas situações.

Como análise de sensibilidade e aplicação das metodologias existentes, foram idealizados nove exemplos esquemáticos que retratam diversas situações de elementos em contacto com o terreno tal como diferentes geometrias para os seus pavimentos térreos. Foram ainda considerados exemplos reais de edifícios com características que se enquadram neste trabalho. A eles foram também aplicados os diversos métodos de cálculo em estudo, bem como todo o restante cálculo térmico previsto no RCCTE. Este facto possibilita ficar com uma ideia da real influência das diferentes metodologias no comportamento geral do edifício.

Percebidos os resultados da aplicação dos métodos de cálculo português, espanhol e francês, é proposto um novo método de cálculo a ser eventualmente considerado na futura revisão do RCCTE, o qual visa uma optimização do cálculo das perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno, contabilizando-as de modo mais aproximado com a ISO 13370.

O método de cálculo proposto foi aplicado a todos os exemplos anteriormente considerados, obtendo uma gama de resultados que atestará a sua optimização relativamente ao actualmente previsto na legislação portuguesa.

PALAVRAS-CHAVE: contacto com terreno, perdas térmicas, parede, pavimento, revisão RCCTE.

ABSTRACT

The Regulation of the Characteristics of the Thermal Performance of Buildings (DL 80/2006- RCCTE in Portuguese) foresees a calculation method for the thermal losses produced by the elements in touch with the soil using linear coefficient values of thermal transmission. This point of view has proven inaccurate for the thermal analysis of buildings, as for, checking the nominal useful energy needs, but especially for the buildings with ground floor or with a major opaque area in touch with the soil.

In this dissertation, it is made an analysis of the methodologies proposed for this type of thermal calculation in Spain, France and Portugal. It is also considered the ISO 13370 norm that includes all the normative reference text for these specific situations.

As an analysis of sensibility and application of the existent methodologies, nine schematic examples that reveal several situations of elements in touch with the soil were idealized, such as, different geometries. It was also taken into consideration real examples of buildings that follow this kind of characteristics. It was applied, to these specific buildings, several calculation methods that are being studied but also the thermal calculation provided by the RCCTE. This fact allows us to get an idea on the real influence of the different methodologies on the general outcome of the building.

After knowing the results of applying the Portuguese, Spanish and French calculation methods, it is proposed a new calculation method to be considered to the future RCCTE inspection, which aims to an improvement on the calculation of the thermal losses made by the elements that are in touch with the soil, counting them so close to the ISO 13370.

The calculation method proposed was applied to every example previously considered; obtaining a range of results that will prove the improvement when compared with the current Portuguese legislation.

KEYWORDS: contact with the ground, thermal losses, wall, floor, RCCTE inspection.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. OBJECTIVOS	1
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2. ANÁLISE DA NORMA ISO 13370:2007	3
2.1. MODELOS MATEMÁTICOS, NUMÉRICOS E PROGRAMAS	3
2.2. ANÁLISE DA NORMA ISO 13370:2007 (E)	4
2.2.1. ÂMBITO DE APLICAÇÃO	4
2.2.2. MÉTODOS DE CÁLCULO	4
2.2.3. PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SOLO	5
2.2.4. TRANSMISSÃO TÉRMICA E EFEITO DA ÁGUA	6
2.2.4.1. Transmissão térmica	6
2.2.4.2. Efeito da água do solo	6
2.2.5. PARÂMETROS UTILIZADOS NO CÁLCULO	6
2.2.5.1. Dimensão característica do pavimento	6
2.2.5.2. Dimensão equivalente	6
2.2.6. CÁLCULO DE TRANSMISSÕES TÉRMICAS	7
2.2.6.1. Pavimento assente no terreno sem isolamento perimetral	7
2.2.6.2. Pavimento assente no terreno com isolamento perimetral	8
2.2.6.3. Cave aquecida	10
3. MODELOS DE CÁLCULO ADOPTADOS EM DIFERENTES PAÍSES PARA A QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS POR ELEMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO	13
3.1. ENQUADRAMENTO	13
3.2. PORTUGAL	13

3.2.1. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO SEM ISOLAMENTO TÉRMICO.....	15
3.2.2. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO COM ISOLAMENTO TÉRMICO PERIMETRAL	15
3.2.3. PAREDES EM CONTACTO COM O TERRENO	16
3.3. ESPANHA	17
3.3.1. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO.....	17
3.3.2. DB-HE: AHORRO DE ENERGÍA.....	17
3.3.2.1. Pavimentos em contacto com o terreno	18
3.3.2.2. Paredes em contacto com o terreno	20
3.4. FRANÇA	21
3.4.1. PAVIMENTO APOIADO NO TERRENO ($Z \leq 0$ M).....	21
3.4.2. PAVIMENTO EM CONTACTO COM O TERRENO ($Z > 0$ M).....	27
3.4.3. PAREDES EM CONTACTO COM O TERRENO	27
3.5. APLICAÇÃO DOS MODELOS	28
3.5.1. EDIFÍCIOS ESQUEMÁTICOS.....	28
3.5.1.1. Caracterização da amostra.....	30
3.5.1.2. Cálculo das perdas de calor pelos elementos em contacto com o terreno - Edifícios esquemáticos	32
3.5.1.3. Análise dos resultados obtidos - Edifícios esquemáticos.....	33
3.5.2. EDIFÍCIOS REAIS	42
3.5.2.1. Caracterização da amostra.....	43
3.5.2.2. Cálculo das perdas de calor pelos elementos em contacto com o terreno - Edifícios reais	44
3.5.2.3. Análise dos resultados obtidos - Edifícios Reais.....	45
3.5.2. VANTAGENS E INCONVENIENTES - SÍNTESE.....	47

4. PROPOSTA DE UM MODELO PARA A FUTURA REVISÃO DO RCCTE

4.1. SÍNTESE DE OBJECTIVOS.....	51
4.2. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO ($Z \geq 0,50$ M)	51
4.3. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO ($Z < 0,50$ M)	55
4.4. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO E COM ISOLAMENTO TÉRMICO PERIMETRAL HORIZONTAL.....	59
4.5. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO E COM ISOLAMENTO TÉRMICO PERIMETRAL VERTICAL.....	61
4.6. PAREDES EM CONTACTO COM O TERRENO	63

4.7. SÍNTESE DA PROPOSTA	66
---------------------------------------	----

5. APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO E COMPARAÇÃO COM OS RESTANTES MODELOS	69
--	----

5.1. APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO PARA A FUTURA REVISÃO DO RCCTE	69
---	----

5.1.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO AOS EDIFÍCIOS ESQUEMÁTICOS	69
--	----

5.1.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO AOS EDIFÍCIOS REAIS	70
---	----

5.2. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DO MODELO PROPOSTO PARA A FUTURA REVISÃO DO RCCTE COM OS RESTANTES MODELOS EXISTENTES	70
---	----

6. CONCLUSÕES	77
----------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Isométricas (radiais) e linhas de fluxo (concêntricas) associadas às perdas de calor através de uma parede e pavimento enterrados	4
Fig.2 – Esquema representativo do pavimento assente no terreno	7
Fig.3 – Esquema representativo do pavimento assente no terreno com isolamento térmico perimetral horizontal	9
Fig.4 – Esquema representativo do pavimento assente no terreno com isolamento térmico perimetral vertical	10
Fig.5 – Esquema representativo da situação de cave	11
Fig.6 – Elementos de construção em contacto com o solo	14
Fig.7 – Pavimento em contacto como o terreno sem isolamento térmico	15
Fig.8 – Pavimento em contacto como o terreno com isolamento térmico perimetral	16
Fig.9 – Parede em contacto com o terreno	16
Fig.10 – Pavimentos com isolamento térmico perimetral horizontal ou vertical ($z \leq 0.50$ m).....	19
Fig.11 – Pavimentos em contacto com o terreno ($z > 0.50$ m)	19
Fig.12 – Paredes em contacto com o terreno	20
Fig.13 – Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0$).....	23
Fig.14 – Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0$) com isolamento térmico periférico horizontal	23
Fig.15 – Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0$) com isolamento térmico periférico vertical	25
Fig.16 – Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0$).....	27
Fig.17 – Pavimento com isolamento em toda a área para os edifícios esquemáticos	28
Fig.18 – Pavimento sem isolamento para os edifícios esquemáticos	29
Fig.19 – Pavimento com isolamento perimetral para os edifícios esquemáticos	29
Fig.20 – Parede em contacto com o terreno para os edifícios esquemáticos	29
Fig.21 – Perdas térmicas globais nos Edifícios Esquemáticos.....	33
Fig.22 – Variação entre os resultados da aplicação dos 3 Regulamentos e os da norma ISO 13370	34
Fig.23 – Distribuição das perdas térmicas utilizando a norma ISO 13370 nos Edifícios Esquemáticos.....	35
Fig.24 – Distribuição das perdas térmicas utilizando a regulamentação francesa nos Edifícios Esquemáticos	36
Fig.25 – Razão entre os resultados do regulamento espanhol e os da norma ISO 13370 nos Edifícios Esquemáticos 1, 2, 3 e 5	37
Fig.26 – Fluxos de calor transmitidos através do pavimento para o terreno	38
Fig.27 – Distribuição das perdas térmicas utilizando a regulamentação espanhola nos Edifícios Esquemáticos	39

Fig.28 – Distribuição das perdas térmicas utilizando a regulamentação portuguesa nos Edifícios Esquemáticos	40
Fig.29 – Perdas térmicas pelo pavimento não isolado nos Edifícios Esquemáticos 8 e 9	41
Fig.30 – Perdas térmicas pelas paredes enterradas nos Edifícios Esquemáticos 6, 7, 8 e 9	42
Fig.31 – Perdas térmicas totais para a estação de aquecimento nos Edifícios Reais	45
Fig.32 – Variação entre os resultados da norma ISO 13370 e os dos restantes regulamentos nos Edifícios Reais	46
Fig.33 – Esquema pavimentos em contacto com o terreno ($z \leq 0,50$ m).....	55
Fig.34 – Esquema pavimentos em contacto com o terreno ($z > 0,50$ m)	58
Fig.35 – Esquema paredes em contacto com o terreno e com isolamento térmico perimetral horizontal	61
Fig.36 – Esquema paredes em contacto com o terreno e com isolamento térmico perimetral vertical	63
Fig.37 – Esquema paredes em contacto com o terreno	65
Fig.38 – Perdas térmicas globais nos Edifícios Esquemáticos, incluindo o Método Proposto	71
Fig.39 – Perdas térmicas globais nos Edifícios Reais, incluindo o Método Proposto.....	71
Fig.40 – Razão entre os resultados da aplicação dos 3 Regulamentos e do Método Proposto e os da norma ISO 13370 nos Edifícios Esquemáticos	72
Fig.41 – Razão entre os resultados da aplicação dos 3 Regulamentos e do Método Proposto e os da norma ISO 13370 nos Edifícios Reais.....	72
Fig.42 – Razão entre os resultados do Regulamento Português e os dos restantes Regulamentos, norma e Método Proposto, nos Edifícios Esquemáticos.....	73
Fig.43 – Razão entre os resultados do Regulamento Português e os dos restantes Regulamentos, norma e Método Proposto, nos Edifícios Reais	73
Fig.44 – Distribuição das perdas térmicas utilizando o Método Proposto nos Edifícios Esquemáticos	74
Fig.45 – Valores de N_{ic}/N_i para os Edifícios Reais	74

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Propriedades térmicas do solo.....	6
Quadro 2 – Valores de ψ de pavimentos em contacto com o terreno, sem isolamento térmico.....	15
Quadro 3 – Valores de ψ de pavimentos em contacto com o terreno, com isolamento térmico perimetral.....	16
Quadro 4 – Valores de ψ de paredes em contacto com o terreno.....	17
Quadro 5 – Transmissão térmica U_s em $W/m^2 \cdot ^\circ C$ para o Caso 1.....	18
Quadro 6 – Transmissão térmica U_s em $W/m^2 \cdot ^\circ C$ para o Caso 2.....	19
Quadro 7 – Transmissão térmica de paredes em contacto com o terreno U_T em $W/m^2 \cdot ^\circ C$	20
Quadro 8 – Transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno e sem isolamento térmico periférico, U_e em $W/m^2 \cdot ^\circ C$	22
Quadro 9 – Transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico periférico horizontal, U_e em $W/m^2 \cdot ^\circ C$; $1,0 \leq R_n < 2,0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$; $0,04 \leq d_n < 0,06 \text{ m}$; $\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ C)$; $w \leq 0,40 \text{ m}$	24
Quadro 10 – Transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico periférico horizontal, U_e em $W/m^2 \cdot ^\circ C$; $2,0 \leq R_n < 3,0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$; $0,06 \leq d_n < 0,08 \text{ m}$; $\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ C)$; $w \leq 0,40 \text{ m}$	24
Quadro 11 – Transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico periférico vertical, U_e em $W/m^2 \cdot ^\circ C$; $1,0 \leq R_n < 1,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$; $0,04 \leq d_n < 0,06 \text{ m}$; $\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ C)$; $w \leq 0,40 \text{ m}$	25
Quadro 13 – Transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico periférico vertical, U_e em $W/m^2 \cdot ^\circ C$; $1,5 \leq R_n < 2,0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$; $0,04 \leq d_n < 0,08 \text{ m}$; $\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ C)$; $w \leq 0,40 \text{ m}$	26
Quadro 12 – Transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico periférico vertical, U_e em $W/m^2 \cdot ^\circ C$; $2,0 \leq R_n < 3,0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$; $0,06 \leq d_n < 0,08 \text{ m}$; $\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ C)$; $w \leq 0,40 \text{ m}$	26
Quadro 13 – Descrição dos Edifícios Esquemáticos	30
Quadro 14 – Perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno para os Edifícios Esquemáticos	32
Quadro 15 – Determinação das perdas por elementos em contacto com o terreno na folha FCIV.1a (original).....	43
Quadro 16 – Determinação das perdas por elementos em contacto com o terreno na folha FCIV.1a (adaptada)	43
Quadro 17 – Descrição dos Edifícios Reais.....	43
Quadro 18 – Perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno para os Edifícios Esquemáticos	44

Quadro 19 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) pelo pavimento em contacto com o terreno ($z \leq 0,50m$) para o valor de $w = 0,40 m$	53
Quadro 20 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para pavimento em contacto com o terreno ($z \leq 0,50m$)	54
Quadro 21 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) pelo pavimento em contacto com o terreno ($z \leq 0,50m$) para os valores de $w = 0,40 m$ e $\lambda = 2 W/(m \cdot ^\circ C)$ e $R_f = 0.20, 0.30, 0.40$ e $0.50 m^2 \cdot ^\circ C/W$	54
Quadro 22 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) pelo pavimento em contacto com o terreno ($z > 0,50m$)	56
Quadro 23 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) pelo pavimento em contacto com o terreno ($0,5 > z \leq 1,0 m$) para os valores de $w = 0,40 m$ e $\lambda = 2 W/(m \cdot ^\circ C)$ e $R_f = 0.20, 0.30, 0.40$ e $0.50 m^2 \cdot ^\circ C/W$	57
Quadro 24 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) pelo pavimento em contacto com o terreno ($1,0 < z \leq 2,0 m$) para os valores de $w = 0,40 m$ e $\lambda = 2 W/(m \cdot ^\circ C)$ e $R_f = 0.20, 0.30, 0.40$ e $0.50 m^2 \cdot ^\circ C/W$	57
Quadro 25 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) pelo pavimento em contacto com o terreno ($2,0 < z \leq 3,0 m$) para os valores de $w = 0,40 m$ e $\lambda = 2 W/(m \cdot ^\circ C)$ e $R_f = 0.20, 0.30, 0.40$ e $0.50 m^2 \cdot ^\circ C/W$	57
Quadro 26 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) pelo pavimento em contacto com o terreno ($z > 3,0 m$) para os valores de $w = 0,40 m$ e $\lambda = 2 W/(m \cdot ^\circ C)$ e $R_f = 0.20, 0.30, 0.40$ e $0.50 m^2 \cdot ^\circ C/W$	58
Quadro 27 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para pavimentos em contacto com o terreno e com isolamento térmico perimetral horizontal	60
Quadro 28 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para pavimentos em contacto com o terreno e com isolamento térmico perimetral vertical.....	62
Quadro 29 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) por paredes em contacto com o terreno para os valores de $\lambda = 2 W/(m \cdot ^\circ C)$ e $R_w = 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5$ e $3.0 m^2 \cdot ^\circ C/W$	64
Quadro 30 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para paredes em contacto com o terreno.....	65
Quadro 31 – Perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno para os Edifícios Esquemáticos com nova proposta	69
Quadro 32 – Perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno para os Edifícios Reais com nova proposta	70
Quadro 33 – Perdas pelos elementos em contacto com o terreno relativamente às totais do edifício (%)	75

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

H_g - coeficiente de transmissão térmica do elemento em contacto com o solo [$W/m^2\cdot^{\circ}C$]

A - área [m^2]

U - coeficiente de transmissão térmica [$W/m^2\cdot^{\circ}C$]

P - perímetro exposto [m]

ψ_g - transmissão térmica linear associada à junção parede/pavimento [$W/m\cdot^{\circ}C$]

λ - condutibilidade térmica do solo [$W/m\cdot^{\circ}C$]

ρc - capacidade calorífica por volume [$J/m^3\cdot^{\circ}C$]

B' - dimensão característica do pavimento [m]

d_t - espessura equivalente do pavimento [m]

d_w - espessura equivalente da parede [m]

R_m, R_w - resistência térmica da parede [$m^2\cdot^{\circ}C/W$]

e, d_n - espessura do isolamento térmico [m]

$\psi_{g,e}$ - transmissão térmica linear associada ao isolamento periférico [$W/m\cdot^{\circ}C$]

U_{bf} - coeficiente de transmissão térmica do pavimento da cave [$W/m^2\cdot^{\circ}C$]

R_{si} - resistência térmica superficial interior [$m^2\cdot^{\circ}C/W$]

R_{se} - resistência térmica superficial exterior [$m^2\cdot^{\circ}C/W$]

Q_t - perdas de calor pela envolvente durante toda a estação de aquecimento [W]

GD - graus-dias de aquecimento [$^{\circ}C\cdot dias$]

R - resistência térmica [$m^2\cdot^{\circ}C/W$]

w - espessura total da parede [m]

R_f - resistência térmica total do pavimento [$m^2\cdot^{\circ}C/W$]

R_n - resistência térmica do isolamento [$m^2\cdot^{\circ}C/W$]

1

INTRODUÇÃO

1.1. GENERALIDADES

Numa fase em que cada vez é mais importante uma utilização eficiente da energia nos edifícios devido à escassez de recursos que se vai manifestando, torna-se imprescindível determinar o mais exactamente possível, todas as transferências térmicas que ocorrem nas nossas habitações e restantes edifícios sujeitos a verificação do comportamento térmico. O Regulamento das Características do Comportamento Térmico do Edifícios (DL 80/2006) [03] prevê o método de cálculo a utilizar para quantificar todas as perdas e ganhos térmicos nos edifícios, estabelecendo os objectivos mínimos a cumprir quer para o período de aquecimento, quer para o período de arrefecimento.

Mais de três anos após a publicação do Decreto-Lei 80/2006, e depois de inúmeros casos em que este já foi aplicado, são notórias as dificuldades em satisfazer os requisitos mínimos para a estação de aquecimento, ou seja, a verificação das necessidades nominais de energia útil para aquecimento máximas para os edifícios que contêm elementos em contacto com o terreno (paredes ou pavimentos).

Pelas opiniões subsequentes da aplicação do referido Decreto-Lei por parte dos técnicos, a metodologia actualmente em vigor para quantificação das perdas térmicas estudadas neste trabalho, prejudica a verificação que obrigatoriamente terá que ser efectuada para a estação de aquecimento.

1.2. OBJECTIVOS

Exposto o problema na quantificação das perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno, torna-se necessário avaliar se este é de facto um problema ou apenas aparenta ser pela impressão causada nos técnicos. Como tal, serão analisados outros métodos de cálculo existentes em países vizinhos, neste caso, em Espanha e em França.

Existindo uma norma que explica o método de cálculo a adoptar quando estamos perante elementos em contacto com o terreno, ISO 13370 [02], também será feito um estudo sobre esta, com o objectivo de poder comparar os resultados a este texto de referência.

A análise passa, numa primeira fase, por perceber qual o processo de cálculo previsto na norma ISO 13370 [02] e em cada um dos três países, observando os aspectos comuns. Numa segunda fase e, com o auxílio de exemplos esquemáticos idealizados para o efeito e de exemplos reais, serão aplicados os três métodos e a norma, o que permitirá uma comparação de resultados e a comprovação de que realmente a actual metodologia de cálculo está a prejudicar a verificação do comportamento térmico dos edifícios.

Após comprovação da ineficácia da actual metodologia prevista no regulamento português, é procurada uma solução alternativa para propor a uma futura revisão do RCCTE, nomeadamente um método que permita uma abrangência aos diferentes tipos de elementos em contacto com o terreno, utilizando para isso um cálculo simplificado e, ao mesmo tempo um método cujos resultados sejam próximos dos que a norma ISO 13370 [02] permite obter, que se entendem serem os de referência pela sua natureza.

Elaborado um novo método, é atestada a sua eficácia nos exemplos considerados para este estudo, comprovando assim se o objectivo principal deste trabalho foi cumprido.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este documento foi desenvolvido ao longo de seis capítulos organizados entre si de forma lógica e procurando desenvolver etapas distintas em cada um deles.

No *primeiro capítulo, Introdução*, são definidos os objectivos desta dissertação e é apresentada a estrutura de todo o trabalho desenvolvido.

No *segundo capítulo, Estado da Arte*, é efectuada uma descrição sucinta da norma ISO 13370 [02], norma esta, que é utilizada como referência para o cálculo das perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno. Todo o processo de cálculo que esta norma transmite é exposto, para uma futura referência ao longo do restante trabalho.

No *terceiro capítulo, Modelos de cálculo adoptados em diferentes países*, é estudada a forma como Portugal, Espanha e França prevêm o cálculo das perdas térmicas em análise neste trabalho. É efectuada uma descrição de cada um desses modelos. São também idealizados nove exemplos esquemáticos e considerados três casos reais para aplicação dos métodos anteriormente expostos, obtendo-se desta forma, dados que poderão ser comparados entre si e, consequentemente, avaliadas as vantagens ou inconvenientes que cada um deles oferece.

No *quarto capítulo, Proposta de um modelo para a futura revisão do RCCTE*, com base nos resultados obtidos para a aplicação de cada um dos modelos em vigor nos países atrás referenciados, é idealizada uma metodologia de cálculo para as perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno e que servirá de proposta a uma futura revisão do RCCTE, em substituição da metodologia actualmente sugerida.

No *quinto capítulo, Aplicação do modelo proposto e comparação com os restantes modelos*, é testado o modelo proposto, fazendo uma aplicação da metodologia que este sugere a todos os exemplos utilizados ao longo do terceiro capítulo. São também comparados os resultados desta aplicação com os anteriormente obtidos para os outros modelos, comprovando assim se o novo modelo cumpre os objectivos que para ele estavam estabelecidos.

No *sexto capítulo, Conclusões*, faz-se uma síntese de toda a análise desenvolvida ao longo deste trabalho tal como dos resultados que foram obtidos. São também assinaladas perspectivas futuras sobre o tema em análise.

2

ANÁLISE DA NORMA ISO 13370:2007

2.1. MODELOS MATEMÁTICOS, NUMÉRICOS E PROGRAMAS

Ao contrário de outros elementos do edifício, os elementos que estão em contacto com o solo contactam com um meio cujas variações de temperatura ao longo do tempo são próprias e diferentes das típicas para o ar ambiente, quer este seja interior ou exterior. Torna-se então necessário um estudo particular para a transferência de calor que ocorre através dos elementos em contacto com o solo.

Estas trocas de calor, por condução, estão dependentes das condições em que o terreno se encontra, tal como a sua temperatura e a condutibilidade térmica. Esta última pode assumir variados valores, o que faz deste tipo de cálculos relativos a outros no restante edifício, menos rigorosos.

Na transferência de calor através dos elementos em contacto com o solo existem dois meios para onde este se poderá dirigir. São eles o próprio solo, nos casos em que a temperatura do elemento em contacto com este é superior à deste e as superfícies em contacto com o ar exterior ou espaço não aquecido.

Para contabilizar as perdas que ocorrem a partir do interior do edifício e se dispersam para o solo, existem modelos teóricos, nomeadamente o do solo semi-infinito, que possibilita a obtenção de soluções analíticas para o problema ao estabelecerem-se condições fronteira iniciais. O seu desenvolvimento já excede o âmbito deste trabalho. Por imposição das condições iniciais e fronteira para a resolução deste problema, conclui-se que para o tipo de regime que tais condições provocam (regime permanente de aquecimento), todo o calor que se dispersa para o solo vai diminuindo ao longo do tempo, sendo mesmo desprezável a partir de determinado momento. Conclui-se portanto que este tipo de perdas não é muito significativo.

Com o intuito de facilitar a análise térmica deste tipo de elementos, foram desenvolvidos alguns softwares que têm a capacidade de simular as condições do terreno e dos elementos que se pretendem analisar.

Um exemplo destes tipos de software é o da empresa “PHYSIBEL SOFTWARE”, que desenvolveu diversas aplicações que simulam o comportamento térmico de uma vasta gama de elementos construtivos.

A aplicação “Voltra”, tem a capacidade de, através de um modelo tridimensional, fazer uma análise de pontes térmicas e simular as trocas de calor com o solo.

As aplicações “Bisco” e “Bistra” já trabalham com modelos bidimensionais, sendo igualmente capazes de simular as perdas de calor através dos elementos em contacto com o terreno.

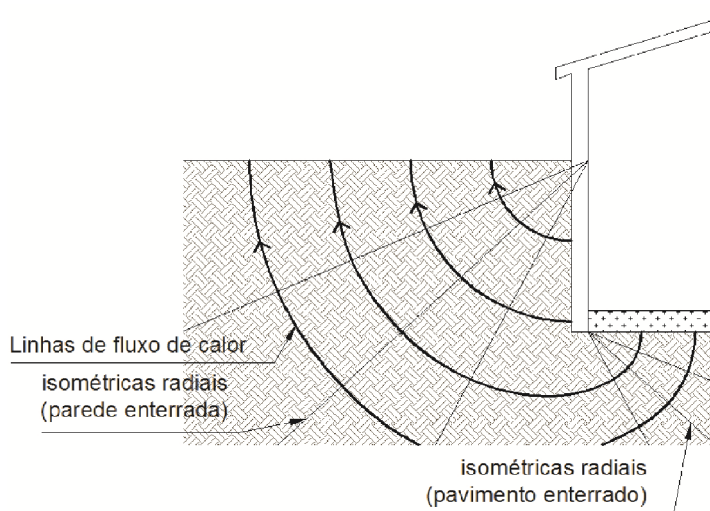


Fig.1 – Isométricas (radiais) e linhas de fluxo (concêntricas) associadas às perdas de calor através de uma parede e pavimento enterrados [01]

2.2. ANÁLISE DA NORMA ISO 13370:2007 (E)

2.2.1. ÂMBITO DE APLICAÇÃO

A norma ISO 13370 [02] pode ser aplicada no cálculo das perdas térmicas por elementos em contacto com o terreno, incluindo pavimentos assentes no terreno, pavimentos enterrados, lajes cobertas pelo terreno e paredes.

No presente trabalho apenas serão descritos os pontos presentes nesta norma e que estão previstos no RCCTE [03].

2.2.2. MÉTODOS DE CÁLCULO

As transferências de calor através do terreno são caracterizadas por:

- fluxo de calor relacionado com a área do pavimento e dependendo da sua construção;
- fluxo de calor relacionado com o perímetro do pavimento, dependendo da ponte térmica na borda deste;
- fluxo de calor periódico anual, relacionado com o perímetro do pavimento e resultante da inércia térmica do terreno.

A metodologia de cálculo tem em conta a natureza tridimensional do fluxo de calor do solo.

Para pavimentos e paredes em contacto com o terreno, a grande inércia térmica do solo resulta em fluxos de calor periódicos, relacionados com o ciclo anual de temperaturas internas e externas. Desta forma, o processo de cálculo desenvolvido nesta norma é baseado em parte numa taxa média anual de

fluxo de calor para condições estacionárias e a outra parte nas variações periódicas anuais de temperatura.

A taxa média anual de fluxo de calor pode ser obtida de quatro formas diferentes:

- através de um método numérico totalmente tridimensional, fornecendo o resultado directamente para o piso em questão, e calculado de acordo com a norma ISO 10211 [04]. Uma vez que os elementos em questão são modelados tridimensionalmente, os resultados obtidos apenas se aplicam ao caso em estudo;
- através de um método numérico bidimensional, considerando que o pavimento é infinitamente longo e a sua largura é igual à dimensão característica (área útil de pavimento dividida pela metade do seu perímetro exposto). Este cálculo deve ser feito de acordo com a norma ISO 10211 [04]. O resultado apenas é aplicável a pavimentos com dimensão característica igual à considerada. Os maiores fluxos de calor ocorrem juntos dos bordos do pavimento e, na maior parte dos casos resultam pequenos erros da conversão que é efectuada do problema tridimensional para um problema bidimensional, no qual a largura do edifício é considerada como a dimensão característica do pavimento;
- a transferência de calor associada à área, calculada segundo as fórmulas indicadas no ponto 2.2.6. deste trabalho, juntamente com a transferência de calor associada às bordas do pavimento, obtidas a partir de um cálculo numérico bidimensional e de acordo com a norma ISO 10211 [04];
- a transferência de calor associada à área, calculada segundo as fórmulas indicadas no ponto 2.2.6. deste trabalho, juntamente com os coeficientes associados aos bordos do pavimento obtidos, por exemplo, em tabelas elaboradas de acordo com a norma ISO 14683 [05].

Para o terceiro e quarto ponto, a taxa média anual de fluxo de calor é dada pela expressão:

$$H_g = A.U + P.\psi_g \quad (1)$$

Em que ψ_g (transmissão térmica linear associada à junção parede/pavimento [W/m.°C]), é obtido através do método numérico referenciado no terceiro ponto ou, então, através das tabelas assinaladas no quarto ponto. O parâmetro A representa a área, medida pelo interior, P o perímetro interior e U o coeficiente de transmissão térmica [W/m²°C].

Para ambos os casos, o método é aplicado a pavimentos com qualquer forma ou dimensão, em que U depende da dimensão do pavimento mas ψ_g é independente das dimensões deste. A expressão 1 poderá ser modificada no caso de se estar a analisar uma cave (ver ponto 2.2.6.3.) ou no caso de existir isolamento perimetral (ver ponto 2.2.6.1.).

2.2.3. PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SOLO

As propriedades térmicas dos solos estão especificadas em regulamentos nacionais ou outros documentos, devendo ser utilizados os valores lá indicados. No caso de ausência destes dados, pode-se utilizar um dos seguintes métodos:

- se conhecidos, utilizar os valores para o local exacto de implantação da obra, medidos numa profundidade igual à largura do edifício;

- se o tipo de solo for conhecido, utilizar os valores do Quadro 1;
- nos outros casos, adoptar $\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$ e $\rho c = 2,0 \times 10^6 \text{ J/(m}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$.

Quadro 1 – Propriedades térmicas do solo [02]

Categoria	Descrição	Condutibilidade térmica	Capacidade calorífica por volume
		$\lambda \text{ [W/(m.}^\circ\text{C)]}$	$\rho c \text{ [J/(m}^3 \cdot ^\circ\text{C)]}$
1	Argila ou Silte	1,5	$3,0 \times 10^6$
2	Saibro ou Areia	2,0	$2,0 \times 10^6$
3	Rocha homogénea	3,5	$2,0 \times 10^6$

2.2.4. TRANSMISSÃO TÉRMICA E EFEITO DA ÁGUA

2.2.4.1. Transmissão térmica

As transmissões térmicas através dos pavimentos ou das paredes de caves estão relacionadas com a taxa média anual de fluxo de calor para condições estacionárias e a sua determinação está prevista no ponto 2.2.6..

2.2.4.2. Efeito da água do solo

O efeito da água do solo é desprezável para a transferência de calor, a não ser que esta esteja a baixa profundidade ou então que tenha um grande caudal. Raramente são encontradas tais condições e, na maioria dos casos não podem ser feitas previsões para os efeitos da água.

2.2.5. PARÂMETROS UTILIZADOS NO CÁLCULO

2.2.5.1. Dimensão característica do pavimento

Para permitir que a natureza tridimensional deste tipo de problemas que envolve fluxos de calor através do solo possa ser calculada utilizando a norma, existe uma espécie de conversão para problema bidimensional através da determinação da dimensão característica do pavimento:

$$B' = \frac{A}{0,5 \times P} \quad (2)$$

No caso de caves, B' é calculada para a área e perímetro da cave, não incluindo as paredes desta.

P é o perímetro do pavimento interior que está exposto, ou seja, apenas excluindo o perímetro que está em contacto com espaços aquecidos.

2.2.5.2. Dimensão equivalente

Este conceito de dimensão equivalente foi introduzido para simplificar a expressão das transmissões térmicas.

A resistência térmica é representada pela sua espessura equivalente em solo, ou seja, a espessura de solo que tem a mesma resistência térmica.

Neste método de cálculo, d_t representa a espessura equivalente para pavimentos e d_w a espessura equivalente para paredes enterradas.

2.2.6. CÁLCULO DE TRANSMISSÕES TÉRMICAS

2.2.6.1. Pavimento assente no terreno sem isolamento perimetral

O pavimento está assente no terreno em toda a sua área e poderá não estar isolado, ser isolado em toda a sua área (acima, abaixo ou entre a laje) e ainda poderá conter ou não isolamento perimetral.

A transmissão térmica neste tipo de pavimentos, depende da dimensão característica dele assim como da sua espessura equivalente, que é determinada pela expressão:

$$d_t = w + \lambda \times (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (3)$$

Onde w corresponde à espessura das paredes, incluindo todas as suas camadas, R_f corresponde à resistência térmica de todas as camadas do pavimento, R_{si} à resistência térmica superficial interior, R_{se} à resistência térmica superficial exterior e λ a condutibilidade térmica do solo.

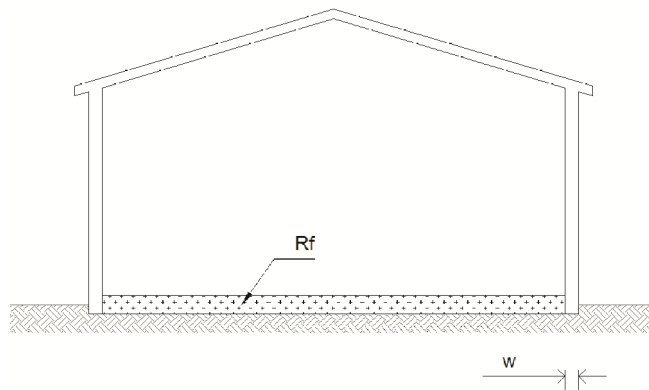


Fig.2 – Esquema representativo do pavimento assente no terreno

As expressões a utilizar para calcular o valor da transmissão térmica dependem no nível de isolamento térmico do pavimento e são as seguintes:

Se $d_t < B'$ (pavimentos não isolados ou moderadamente isolados)

$$U = \frac{2 \times \lambda}{\pi \times B' + d_t} \times \ln \left(\frac{\pi \times B'}{d_t} + 1 \right) \quad (4)$$

Se $d_t \geq B'$ (pavimentos bem isolados)

$$U = \frac{\lambda}{0.457 \times B' + d_t} \quad (5)$$

2.2.6.2. Pavimento assente no terreno com isolamento perimetral

Um pavimento assente sobre o terreno poderá conter um isolamento perimetral, que consiste em colocar isolamento ao longo do bordo do pavimento, sendo que a sua largura (D) é pequena quando comparada com a largura do edifício.

O efeito do isolamento perimetral é tratado como uma transmissão térmica linear ($\psi_{g,e}$), que depende da do facto do isolamento estar disposto horizontalmente ou verticalmente.

No caso de existir um isolamento perimetral vertical e horizontal, deve ser efectuado o cálculo para os dois, separadamente mas considerar apenas o que oferece uma maior redução nas perdas de calor.

A espessura equivalente adicional provocada pelo isolamento perimetral, é calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$d' = R' \times \lambda \quad (6)$$

Em que R' corresponde à resistência térmica adicional introduzida pelo isolamento perimetral e pode ser determinada utilizando a fórmula seguinte:

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda} \quad (7)$$

R_n corresponde à resistência térmica do isolamento térmico e d_n à sua espessura.

Quando $\psi_{g,e}$ é incluído no cálculo, a expressão 1 altera o seu aspecto, ficando:

$$H_g = (A.U) + P(\psi_g + \psi_{g,e}) \quad (8)$$

O efeito do isolamento térmico perimetral é incorporado no cálculo da transmissão térmica do pavimento, através da expressão:

$$U = U_0 + \frac{2 \times \psi_{g,e}}{B'} \quad (9)$$

Em que U_0 corresponde à resistência térmica do pavimento quando não se considera o efeito do isolamento térmico perimetral. Qualquer outro isolamento deve ser incluído no cálculo de U_0 .

Isolamento térmico perimetral horizontal

O valor da transmissão térmica linear associada à disposição horizontal do isolamento pode ser obtido através da expressão:

$$\psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \times \left[\ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right) \right] \quad (10)$$

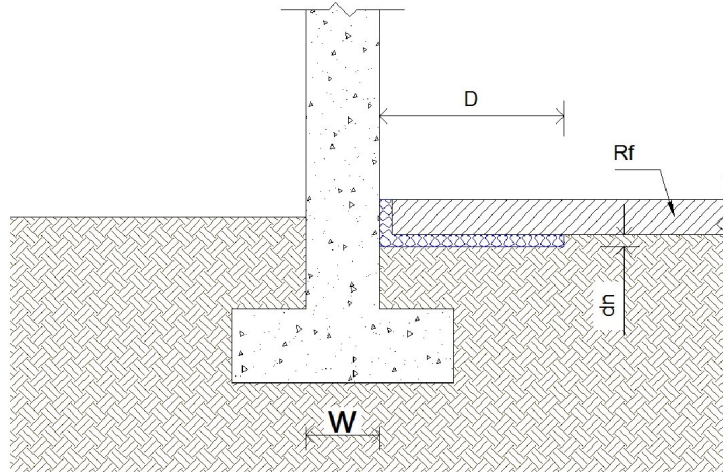


Fig.3 – Esquema representativo do pavimento assente no terreno com isolamento térmico perimetral horizontal

NOTA: A expressão 10 é aplicada caso o isolamento esteja situado na parte superior ou inferior da laje.

Isolamento térmico perimetral vertical

Para os casos em que o isolamento térmico perimetral já se encontra disposto na vertical, a expressão a utilizar é a seguinte:

$$\psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \times \left[\ln\left(\frac{2 \times D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{2 \times D}{d_t + d'} + 1\right) \right] \quad (11)$$

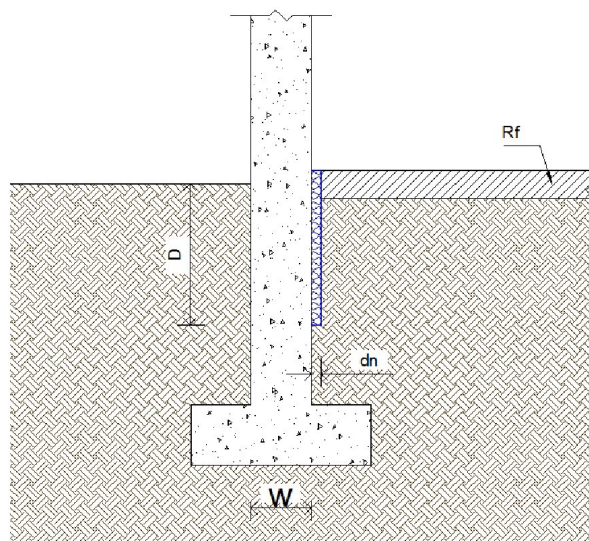


Fig.4 – Esquema representativo do pavimento assente no terreno com isolamento térmico perimetral vertical

NOTA: A expressão 11 é aplicada tanto no caso do isolamento térmico se encontrar no interior como no exterior da parede de fundação.

2.2.6.3. Cave aquecida

No cálculo das perdas por elementos situados em caves, ou seja elementos enterrados relativamente à superfície do terreno, o procedimento de cálculo é idêntico ao previsto para pavimentos assentes no terreno. Os aspectos que se alteram são o facto de se passar a considerar a distância z (entre a superfície do terreno e a superfície do pavimento) e a possibilidade de existirem diferentes níveis de isolamento aplicados nas paredes e pavimento da cave.

No caso de z ser variável ao longo do perímetro da cave, considerar o seu valor médio nos cálculos.

Para o caso de um edifício em que parte deste está apoiada sobre o terreno e parte está em cave, aproximar as perdas de calor considerando que todo ele está em cave, mas com um valor de z igual a metade do real.

Pavimentos enterrados

Para determinar U_{bf} deve ser determinada a dimensão característica da cave (expressão 2) e a espessura equivalente do pavimento (expressão 3).

Também o valor da transmissão térmica por pavimentos enterrados dependerá no nível de isolamento do deste e poderá ser obtido através das expressões:

Se $(d_t + 0,5 \times z) < B'$ (pavimentos não isolados ou moderadamente isolados)

$$U_{bf} = \frac{2 \times \lambda}{\pi \times B' + d_t + 0,5 \times z} \times \ln \left(\frac{\pi \times B'}{d_t + 0,5 \times z} + 1 \right) \quad (12)$$

Se $(d_t + 0,5 \times z) \geq B'$ (pavimentos bem isolados)

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0.457 \times B' + d_t + 0,5 \times z} \quad (13)$$

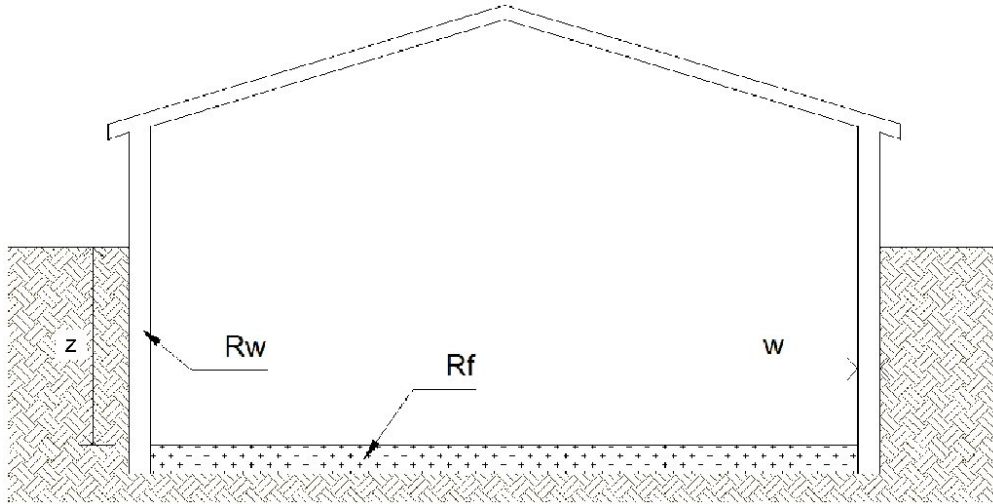


Fig.5 – Esquema representativo da situação de cave

Paredes em contacto com o terreno

No caso de se abordar as paredes em contacto com o terreno, a transmissão térmica já dependerá de d_w , que poderá ser obtido através da seguinte expressão:

$$d_w = \lambda \times (R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (14)$$

R_w corresponde à resistência térmica de todas as camadas da parede em contacto com o terreno.

O valor da transmissão térmica pode então ser calculado aplicando a expressão seguinte:

$$U_{bw} = \frac{2 \times \lambda}{\pi \times z} \times \left(1 + \frac{0,5 \times d_t}{d_t + z} \right) \times \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (15)$$

A expressão 15 envolve o valor de d_t e de d_w . Esta é válida sempre que $d_w \geq d_t$, que é o que acontece frequentemente. Nos casos em que $d_w < d_t$, o valor de d_t é substituído por d_w na expressão 15.

3

MODELOS DE CÁLCULO ADOPTADOS EM DIFERENTES PAÍSES PARA A QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS POR ELEMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO

3.1. ENQUADRAMENTO

Definido um método de cálculo normalizado pela norma ISO 13370 [02], cada país adapta ou adota a metodologia por ela sugerida. Estas adaptações poderão passar por alterações de nomenclatura, expressões a utilizar para cada caso de elementos em contacto com o terreno e factores de agravamento dos resultados. Pode-se ainda simplesmente simplificar todo o processo de cálculo, tabelando diversas situações e, conseguindo assim de uma forma expedita, uma consulta de valores.

Em cada país seleccionado, a metodologia utilizada é variável e em nenhum deles existe uma utilização integral das expressões propostas pela norma ISO 13370 [02]. Torna-se então necessário fazer uma primeira avaliação destas metodologias adoptadas para que se possa perceber em que diferem.

3.2. PORTUGAL

A legislação portuguesa prevê um Decreto-Lei que explica como devem ser verificadas as características do comportamento térmico de um edifício. Este documento, o RCCTE [03], tem por objectivo minimizar os efeitos patológicos na construção, provenientes de condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente. É também grande objectivo dele, assegurar todo o conforto térmico dos edifícios sem que para isso haja um dispêndio elevado de energia.

Este é um documento que se encontra estruturado em cinco capítulos e nove anexos. Para o presente trabalho, é importante o quarto anexo, relativo ao método de cálculo das necessidades de aquecimento.

Por análise do quarto anexo deste regulamento, percebe-se que as perdas podem ocorrer pelo fenómeno da condução através da envolvente dos edifícios ou ainda através da renovação de ar. As perdas em estudo dão-se através da envolvente, pelo que é aprofundado o estudo nesse sentido.

As perdas de calor por condução através da envolvente (Q_c) resultam da soma das perdas de calor por cada tipo de elemento da envolvente. São então consideradas as perdas por elementos em contacto com o exterior (Q_{ext}), as perdas por elementos em contacto com os locais não aquecidos (Q_{ina}), as

perdas pelos elementos em contacto com o solo (Q_{pe}) e, ainda, as perdas através das pontes térmicas lineares existentes no edifício (Q_{pt}). Estas perdas são quantificadas através da expressão 16.

$$Q_t = Q_{ext} + Q_{lna} + Q_{pe} + Q_{pt} \quad (16)$$

As perdas pelos elementos em contacto com o terreno (L_{pe}) podem dar-se pelas paredes ou pelo pavimento. Para cada um dos casos existe um método de cálculo diferente. Estas perdas são determinadas segundo a expressão 17 e expressam-se em watt por grau centígrado ($W/^{\circ}C$).

$$L_{pe} = \sum \psi_j \times B_f \quad (17)$$

Nesta expressão, ψ corresponde ao coeficiente de transmissão térmica linear e B é o perímetro da parede ou do pavimento medido pelo exterior, concluindo-se desta forma, que estas perdas térmicas são lineares.

A Fig. 6 ilustra a situação das perdas térmicas em estudo.

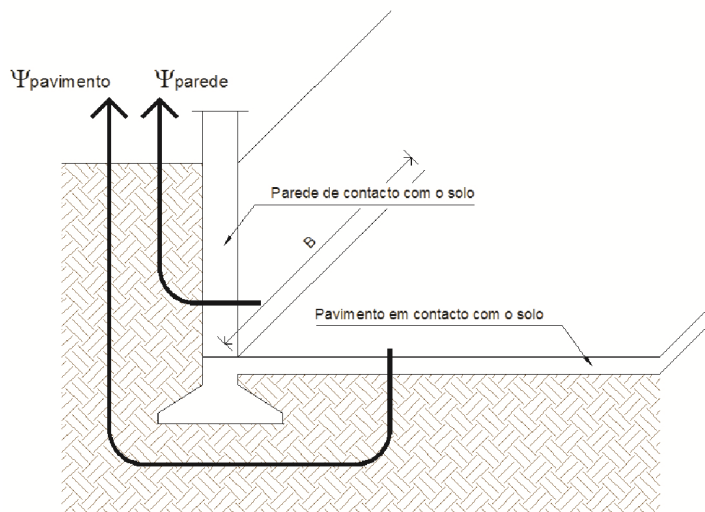


Fig.6 – Elementos de construção em contacto com o solo

A energia necessária para compensar estas perdas térmicas durante a estação de aquecimento e para cada elemento da envolvente em contacto com o solo calculado segundo a expressão 18 e expressa-se em (kWh).

$$Q_{pe} = 0.024 \times L_{pe} \times GD \quad (18)$$

O coeficiente de transmissão térmica linear a determinar para a quantificação das perdas, varia de acordo com a diferença de cotas entre a superfície do pavimento e a superfície do terreno (z). Este valor é negativo quando a cota da superfície do pavimento é inferior à cota da superfície do terreno.

As perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno não são contabilizadas para elementos pertencentes a espaços não úteis ou não aquecidos e para paredes interiores que separem dois espaços úteis ou então um espaço útil de um não aquecido, desde que $\tau < 0,7$.

3.2.1. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO SEM ISOLAMENTO TÉRMICO

O primeiro elemento para o qual surge o método de cálculo no regulamento português é direccionado aos pavimentos em contacto com o terreno e que não possuem isolamento na sua constituição.

Os valores das perdas térmicas lineares podem ser obtidos directamente por intermédio do Quadro 2. A Fig.7 esquematiza a situação em análise.

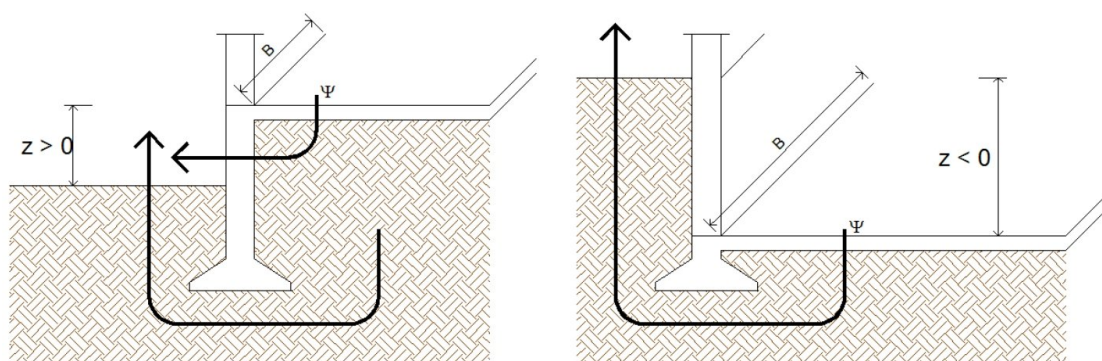


Fig.7 – Pavimento em contacto com o terreno sem isolamento térmico [03]

Quadro 2 – Valores de ψ de pavimentos em contacto com o terreno, sem isolamento térmico [03]

z (m)	ψ (W/m.°C)
Menor que -6	0
de -6 a -1.25	0,50
De -1.20 a 0	1,50
De 0.05 a 1.50	2,50

3.2.2. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO COM ISOLAMENTO TÉRMICO PERIMETRAL

Para os pavimentos em que está prevista a aplicação de uma faixa de isolamento térmico perimetral, surge o Quadro 3. Os valores para o coeficiente de transmissão térmica linear vão depender do valor da resistência térmica do isolamento aplicado. As condições em que este se deve encontrar estão esquematizadas na Fig.8.

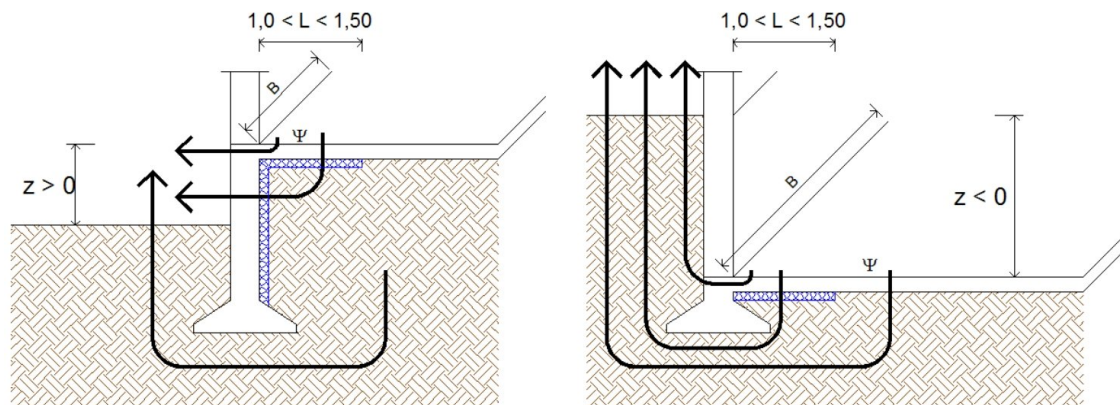


Fig.8 – Pavimento em contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral [03]

Quadro 3 – Valores de ψ de pavimentos em contacto com o terreno, com isolamento térmico perimetral [03]

z (m)	ψ (W/m.°C)	
	Resistência térmica do isolamento térmico (m ² .°C/W)	
	0,3 ≤ R ≤ 0,5	≥ 0,5
-1.20 a 0.00	1,40	1,20
0.05 a 1.50	2,00	1,80

3.2.3. PAREDES EM CONTACTO COM O TERRENO

Para as paredes em contacto com o terreno surge o Quadro 4 cujos valores do coeficiente de transmissão térmica linear dependem do coeficiente de transmissão térmica da própria parede. A Fig.9 ilustra a situação de parede em contacto com o terreno.

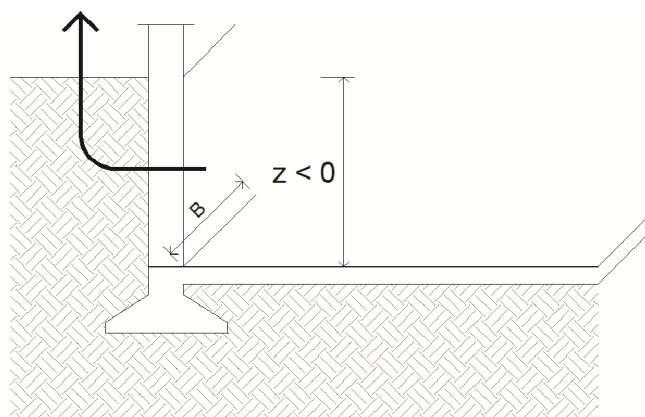


Fig.9 – Parede em contacto com o terreno [03]

Quadro 4 – Valores de ψ de paredes em contacto com o terreno [03]

z (m)	ψ (W/m. $^{\circ}$ C)					
	Coeficiente de transmissão térmica da parede U ⁽¹⁾ (W/m ² . $^{\circ}$ C)					
	0,40 a 0,64	0,64 a 0,99	1 a 1,19	1,20 a 1,49	1,50 a 1,79	1,80 a 2
< -6	1,55	1,90	2,25	2,45	2,65	2,75
-6 a -3.05	1,35	1,65	1,90	2,05	2,25	2,50
-3 a -1.05	0,80	1,10	1,30	1,45	1,65	1,75
-1 a 0	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80

(1) – na zona em contacto com o terreno

3.3. ESPANHA

3.3.1. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

A legislação espanhola encontra-se estruturada segundo as diversas áreas técnicas da construção civil. A “Ley 38/1999 de 5 de noviembre” [06], do Ordenamento e da Edificação, define o “El Código Técnico de la Edificación” [07] como marco normativo que estabelece as exigências básicas de qualidade dos edifícios e das suas instalações, permitindo então, o cumprimento dos requisitos básicos relativos à segurança e habitabilidade. Este conjunto de normas é composto por oito secções que correspondem, cada uma delas, a uma área distinta da edificação. Para o presente trabalho, a área a analisar é a relacionada com os problemas energéticos e é abordada no documento “DB-HE: Ahorro de energía” [08]. Nele são impostas as regras pelas quais devem ser calculados os problemas térmicos e energéticos do edifício.

Por imposição das directivas 93/76/CEE [09] e 2002/91/CE [10], também a Espanha e à semelhança de outros países, como Estado Membro da União Europeia, viu-se obrigada a corrigir as suas normas técnicas relativas à eficiência energética, consolidando as novas exigências na publicação do “DB-HE: Ahorro de energia” [08].

3.3.2. DB-HE: AHORRO DE ENERGÍA

Partindo para uma análise deste documento, observa-se que existem cinco grandes capítulos, subordinados a vários temas:

- HE1 - Limitação das exigências energéticas;
- HE2 - Rendimento das instalações térmicas;
- HE3 - Eficiência energética das instalações de iluminação;
- HE4 - Contribuição solar mínima de água quente sanitária;
- HE5 - Contribuição fotovoltaica mínima de energia eléctrica.

Para o presente estudo foi aprofundado o primeiro capítulo (HE1), no qual é exposto o método pelo qual devem ser efectuados os cálculos e verificações térmicas de vários elementos, nomeadamente os elementos em contacto com o terreno.

Numa perspectiva de comportamento térmico e cálculo dos seus parâmetros característicos, a divisão dos elementos que compõe o edifício pode ocorrer em três grupos:

- Elementos em contacto com o exterior;
- Elementos em contacto com o terreno;
- Partições interiores em contacto com espaços não aquecidos (habitados).

3.3.2.1. Pavimentos em contacto com o terreno

Para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica U_s ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) de pavimentos em contacto com o terreno, são considerados dois casos:

CASO 1: Pavimentos assentes ao nível do terreno ou no máximo 0,50 m abaixo deste

A transmissão térmica é obtida em função da largura D da faixa de isolamento térmico perimetral, da sua resistência térmica e da sua dimensão característica B' , obtida segundo a expressão 2. Os seus valores podem ser obtidos do Quadro 5 e os valores intermédios podem ser obtidos por interpolação linear.

Para pavimentos sem isolamento térmico a transmissão térmica deve ser lida na coluna $R_a = 0 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$.

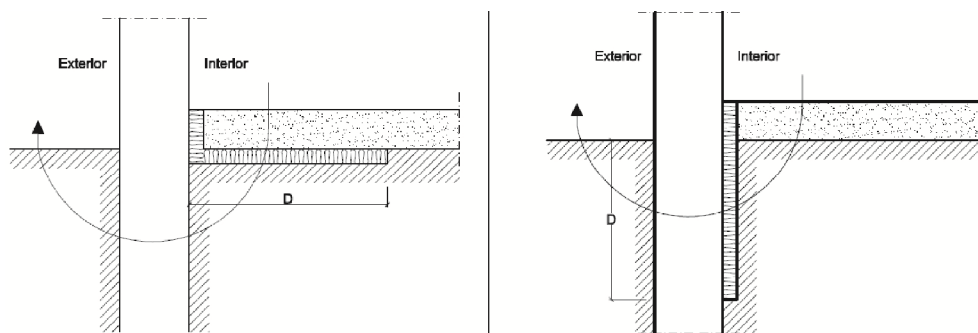
Para os pavimentos que possuem isolamento em toda a sua área, considerar os valores das colunas para $D = 1.50 \text{ m}$.

A transmissão térmica da faixa periférica de um metro de pavimento obtém-se para $B' = 1 \text{ m}$.

A Fig.10 ilustra esquematicamente como deve estar disposto o isolamento térmico.

Quadro 5 – Transmissão térmica U_s em $\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ para o Caso 1 [08]

B'	D = 0.50 m						D = 1.00 m					D = 1.50 m				
	R_a						R_a					R_a				
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
1	2.35	1.57	1.30	1.16	1.07	1.01	1.39	1.01	0.80	0.66	0.57	-	-	-	-	-
5	0.85	0.69	0.64	0.61	0.59	0.58	0.65	0.58	0.54	0.51	0.49	0.64	0.55	0.50	0.47	0.44
6	0.74	0.61	0.57	0.54	0.53	0.52	0.58	0.52	0.48	0.46	0.44	0.57	0.50	0.45	0.43	0.41
7	0.66	0.55	0.51	0.49	0.48	0.47	0.53	0.47	0.44	0.42	0.41	0.51	0.45	0.42	0.39	0.37
8	0.60	0.50	0.47	0.45	0.44	0.43	0.48	0.43	0.41	0.39	0.38	0.47	0.42	0.38	0.36	0.35
9	0.55	0.46	0.43	0.42	0.41	0.40	0.44	0.40	0.38	0.36	0.35	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33
10	0.51	0.43	0.40	0.39	0.38	0.37	0.41	0.37	0.35	0.34	0.33	0.40	0.36	0.34	0.32	0.31
12	0.44	0.38	0.36	0.34	0.34	0.33	0.36	0.33	0.31	0.30	0.29	0.36	0.32	0.30	0.28	0.27
14	0.39	0.34	0.32	0.31	0.30	0.30	0.32	0.30	0.28	0.27	0.27	0.32	0.29	0.27	0.26	0.25
16	0.35	0.31	0.29	0.28	0.27	0.27	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.29	0.26	0.25	0.24	0.23
18	0.32	0.28	0.27	0.26	0.25	0.25	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.27	0.24	0.23	0.22	0.21
≥ 20	0.30	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.25	0.23	0.22	0.21	0.21	0.25	0.22	0.21	0.20	0.20


 Fig.10 – Pavimentos com isolamento térmico perimetral horizontal ou vertical ($z \leq 0.50$ m) [08]

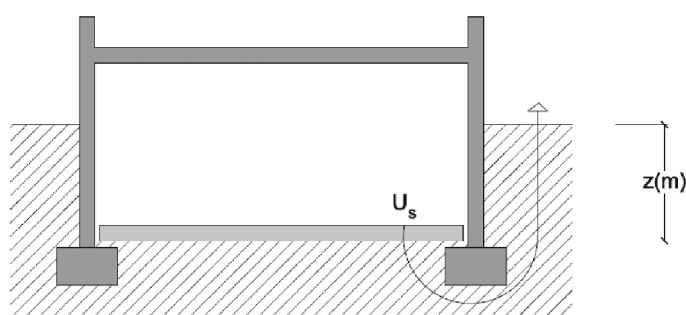
CASO 2: Pavimentos assentes a uma profundidade superior a 0,50 m relativamente ao nível do terreno.

A transmissão térmica é obtida em função da profundidade z do pavimento relativamente à superfície do terreno, da sua resistência térmica, desprezando as resistências térmicas superficiais e da dimensão característica B' , obtida segundo a expressão 2. Os valores intermédios para a resistência térmica podem ser obtidos por interpolação linear.

O Quadro 6 fornece os valores para a transmissão térmica e a Fig.11 indica esquematicamente como devem estar dispostos os elementos.

 Quadro 6 – Transmissão térmica U_s em $W/m^2 \cdot ^\circ C$ para o Caso 2 [08]

	0.5 m < z ≤ 1.0 m				1.0 m < z ≤ 2.0 m				2.0 m < z ≤ 3.0 m				z > 3.0 m			
	$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$				$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$				$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$				$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$			
B'	0.0	0.5	1.0	1.5	0.0	0.5	1.0	1.5	0.0	0.5	1.0	1.5	0.0	0.5	1.0	1.5
5	0.64	0.52	0.44	0.39	0.54	0.45	0.40	0.36	0.42	0.37	0.34	0.31	0.35	0.32	0.29	0.27
6	0.57	0.46	0.40	0.35	0.48	0.41	0.36	0.33	0.38	0.34	0.31	0.28	0.32	0.29	0.27	0.25
7	0.52	0.42	0.37	0.33	0.44	0.38	0.33	0.30	0.35	0.31	0.29	0.26	0.30	0.27	0.25	0.24
8	0.47	0.39	0.34	0.30	0.40	0.35	0.31	0.28	0.33	0.29	0.27	0.25	0.28	0.26	0.24	0.22
9	0.43	0.36	0.32	0.28	0.37	0.32	0.29	0.26	0.30	0.27	0.25	0.23	0.26	0.24	0.22	0.21
10	0.40	0.34	0.30	0.27	0.35	0.30	0.27	0.25	0.29	0.26	0.24	0.22	0.25	0.23	0.21	0.20
12	0.36	0.30	0.27	0.24	0.31	0.27	0.24	0.22	0.26	0.23	0.21	0.20	0.22	0.21	0.19	0.18
14	0.32	0.27	0.24	0.22	0.28	0.25	0.22	0.20	0.23	0.21	0.20	0.18	0.20	0.19	0.18	0.17
16	0.29	0.25	0.22	0.20	0.25	0.23	0.20	0.19	0.21	0.20	0.18	0.17	0.19	0.17	0.16	0.16
18	0.26	0.23	0.20	0.19	0.23	0.21	0.19	0.18	0.20	0.18	0.17	0.16	0.17	0.16	0.15	0.15
≥20	0.24	0.21	0.19	0.17	0.22	0.19	0.18	0.16	0.18	0.17	0.16	0.15	0.16	0.15	0.14	0.14


 Fig.11 – Pavimentos em contacto com o terreno ($z > 0.50$ m) [08]

3.3.2.2. Paredes em contacto com o terreno

A transmissão térmica das paredes em contacto com o terreno pode ser obtida no Quadro 7 e varia em função da profundidade z e da resistência térmica da parede (R_m), determinada não considerando as suas resistências térmicas superficiais. Os valores intermédios podem ser obtidos por interpolação linear. A Fig.12 esquematiza a disposição prevista para as paredes em contacto com o terreno.

Quadro 7 – Transmissão térmica de paredes em contacto com o terreno U_T em $W/m^2 \cdot ^\circ C$ [08]

	Profundidade z da parte enterrada da parede (m)					
$R_m (m^2 \cdot ^\circ C/W)$	0.5	1	2	3	4	≥ 6
0.00	3.05	2.20	1.48	1.15	0.95	0.71
0.50	1.17	0.99	0.77	0.64	0.55	0.44
1.00	0.74	0.65	0.54	0.47	0.42	0.34
1.50	0.54	0.49	0.42	0.37	0.34	0.28
2.00	0.42	0.39	0.35	0.31	0.28	0.24

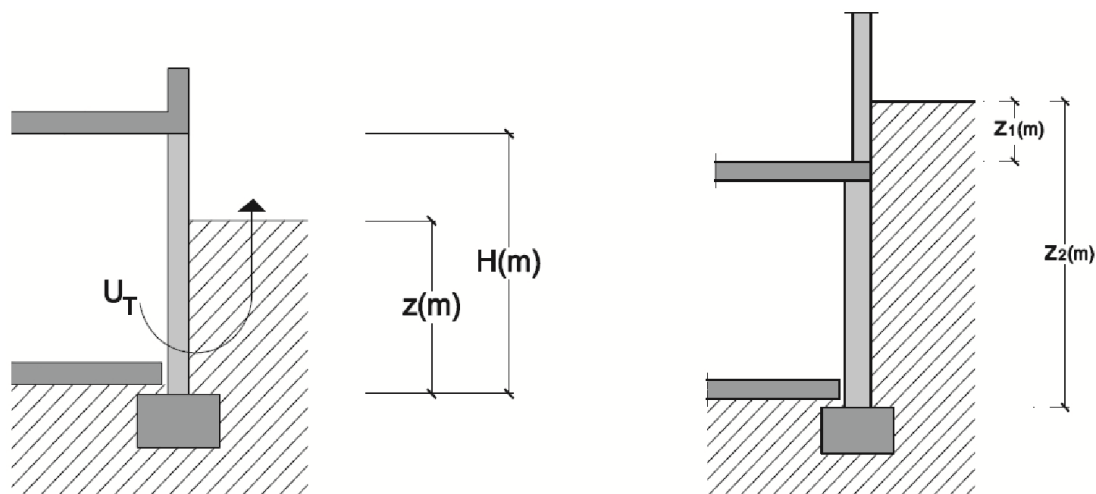


Fig.12 – Paredes em contacto com o terreno [08]

No caso de paredes cuja composição varie com a profundidade, como se pode observar na Fig.12, a transmissão térmica pode-se obter utilizando a expressão 19.

$$U_T = \frac{U_1 \times z_1 + U_2 \times z_2 - U_{12} \times z_1}{z_2} \quad (19)$$

Na expressão 19, z_1 e z_2 correspondem à profundidade do primeiro e segundo troços de parede, respectivamente; U_1 corresponde à transmissão térmica obtida no Quadro 7 para o primeiro troço de parede para uma profundidade $z = z_1$ e uma resistência térmica $R_m = R_1$; U_2 corresponde à transmissão térmica obtida no Quadro 7 para o segundo troço de parede hipotético para uma profundidade $z = z_2$ e uma resistência térmica $R_m = R_2$; U_{12} corresponde à transmissão térmica obtida no Quadro 7 de uma parede hipotética para uma profundidade $z = z_1$ e uma resistência térmica $R_m = R_2$.

3.4. FRANÇA

A legislação francesa é um pouco mais vasta e abrangente que a portuguesa e a espanhola. É ainda complementada com uma enorme gama de pormenores e recomendações técnicas que apoiam tanto na concepção do projecto como na realização em obra.

O “Code de la construction et de l’habitation” [11] estabelece quais os objectivos nas políticas energéticas dos edifícios, quer a nível de características térmicas, quer a nível de performance energética e energias renováveis, quer a nível de estudos sobre facilidade de aproveitamento de energia.

Abordando agora uma parte mais técnica, o sector da construção em França disponibiliza imensos documentos com regras de cálculo nas mais vastas áreas da construção. Para o presente trabalho interessam as relativas à regulamentação térmica de edifícios novos, com o nome “Réglementation thermique 2005” [12]. Dentro desta regulamentação, também ela estruturada em diversas áreas da térmica, interessa a relativa à determinação do coeficiente médio de perdas por transmissão através da envolvente do edifício. Este documento toma o nome “Les règles Th-U” e é um dos documentos que é elaborado e revisto periodicamente pelo “Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – CSTB”. A sua última revisão foi publicada no ano de 2005.

À semelhança do regulamento português e espanhol, também os elementos em contacto com o terreno têm regras de cálculo próprias e encontram-se divididas por tipo de elementos.

3.4.1. PAVIMENTO APOIADO NO TERRENO ($z \leq 0$ M)

O coeficiente de transmissão térmica superficial equivalente (U_e) de um pavimento apoiado no terreno é expresso em $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ e é calculado utilizando a expressão 20, caso este contenha isolamento térmico contínuo em toda a sua superfície ou, utilizando a expressão 21 no caso de lhe ser aplicado isolamento térmico periférico.

$$U_e = U_c \quad (20)$$

$$U_e = U_c + 2 \times \frac{\Delta \psi}{B'} \quad (21)$$

O valor para o coeficiente superficial equivalente (U_e) do pavimento sem o efeito do isolamento térmico periférico, é obtido através da expressão 22 ou da expressão 23, dependendo da relação entre a espessura equivalente do pavimento, obtida pela equação 3 e a dimensão característica do pavimento, obtida pela expressão 2.

Se $d_t < B'$

$$U_c = \frac{2 \times \lambda_s}{\pi \times B' + d_t} \times \ln \left(\frac{\pi \times B'}{d_t} + 1 \right) \quad (22)$$

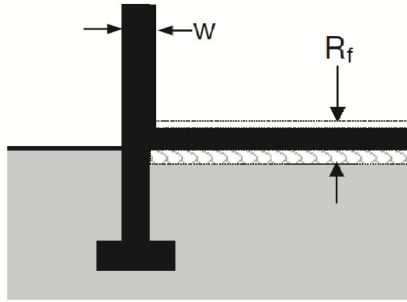
Se $d_t \geq B'$

$$U_c = \frac{\lambda_s}{0.457 \times B' + d_t} \quad (23)$$

Para esta situação de pavimento pode ser consultado Quadro 8 que, de uma forma expedita, permite a obtenção directa dos valores do coeficiente superficial equivalente (U_e). Este quadro é válido para paredes adjacentes ao pavimento com menos de 40 centímetros de espessura total. A Fig.13 esquematiza, para uma melhor compreensão dos dados envolvidos, esta configuração de pavimento. Os valores intermédios podem ser obtidos por interpolação linear.

Quadro 8 – Transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno e sem isolamento térmico periférico,
 U_e em $W/m^2 \cdot ^\circ C$ [12]

	$\lambda = 1,5 W/(m \cdot ^\circ C)$					$\lambda = 2,0 W/(m \cdot ^\circ C)$					$\lambda = 3,5 W/(m \cdot ^\circ C)$				
(m)	$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$					$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$					$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$				
B'	1.00	1.50	2.00	2.50	3.0	1.00	1.50	2.00	2.50	3.0	1.00	1.50	2.00	2.50	3.0
3	0.44	0.36	0.30	0.26	0.23	0.49	0.39	0.33	0.28	0.25	0.59	0.46	0.37	0.31	0.27
4	0.40	0.33	0.28	0.24	0.22	0.45	0.36	0.31	0.26	0.23	0.55	0.43	0.35	0.30	0.26
5	0.36	0.30	0.26	0.23	0.20	0.42	0.34	0.29	0.25	0.22	0.52	0.41	0.34	0.29	0.25
6	0.33	0.28	0.24	0.22	0.19	0.38	0.32	0.27	0.24	0.21	0.49	0.39	0.32	0.28	0.25
7	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18	0.36	0.30	0.26	0.23	0.20	0.47	0.37	0.31	0.27	0.24
8	0.28	0.24	0.22	0.19	0.18	0.33	0.28	0.25	0.22	0.20	0.44	0.36	0.30	0.26	0.23
9	0.26	0.23	0.20	0.18	0.17	0.31	0.27	0.24	0.21	0.19	0.42	0.35	0.29	0.25	0.22
10	0.25	0.22	0.19	0.18	0.16	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18	0.40	0.33	0.28	0.24	0.22
12	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.27	0.23	0.21	0.19	0.17	0.37	0.31	0.27	0.23	0.21
14	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.34	0.29	0.25	0.22	0.20
16	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.32	0.27	0.24	0.21	0.19
18	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.21	0.18	0.17	0.15	0.14	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18
20	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.19	0.17	0.16	0.14	0.13	0.28	0.24	0.22	0.19	0.18


 Fig.13 – Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0$) [12]

No caso de existir um isolamento térmico periférico, o cálculo é efectuado com base na expressão 21 que considera um termo correctivo $\Delta\psi$ correspondente ao contributo do isolamento térmico periférico para atenuar as perdas térmicas. Este termo correctivo é determinado segundo a expressão 24 no caso de o isolamento estar disposto na horizontal ou, segundo a expressão 25 no caso de o isolamento se encontrar na posição vertical.

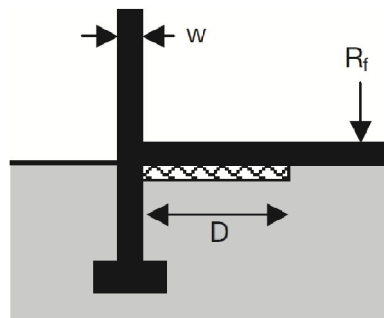
$$\Delta\psi = -\frac{\lambda_s}{\pi} \times \left[\ln\left(\frac{D}{d_i} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_i + d'} + 1\right) \right] \quad (24)$$

$$\Delta\psi = -\frac{\lambda_s}{\pi} \times \left[\ln\left(\frac{2 \times D}{d_i} + 1\right) - \ln\left(\frac{2 \times D}{d_i + d'} + 1\right) \right] \quad (25)$$

O termo d' é obtido segundo a expressão 6.

Também para estas situações de pavimento com isolamento térmico periférico estão publicados quadros que permitem a obtenção de forma expedita dos coeficientes de transmissão superficial equivalente (U_e). Estes coeficientes já se tratam de valores totais para este coeficiente, ou seja, já consideram a resistência térmica do pavimento e o efeito do isolamento térmico periférico.

A Fig.14 juntamente com os Quadros 9 e 10, retratam o caso do isolamento térmico periférico estar disposto na horizontal e a Fig. 15 juntamente com os Quadros 11, 12 e 13, o caso em que este isolamento já está disposto na vertical.


 Fig.14 – Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0$) com isolamento térmico periférico horizontal [12]

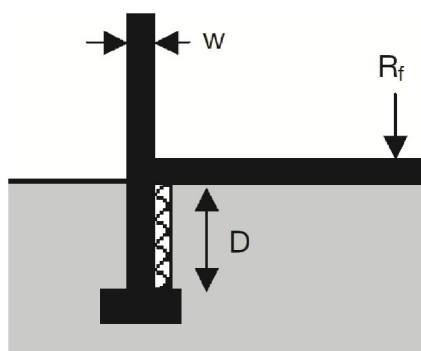
Quadro 9 – Transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico periférico horizontal, U_e em $W/m^2 \cdot ^\circ C$; $1,0 \leq R_n < 2,0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$; $0,04 \leq d_n < 0,06 \text{ m}$; $\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ C)$; $w \leq 0,40 \text{ m}$ [12]

	D = 0,5 m					D = 1,0 m					D = 1,5 m				
(m)	$R_f (\text{m}^2 \cdot ^\circ C/W)$					$R_f (\text{m}^2 \cdot ^\circ C/W)$					$R_f (\text{m}^2 \cdot ^\circ C/W)$				
B'	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
3	0.87	0.61	0.46	0.37	0.31	0.78	0.56	0.43	0.35	0.30	0.71	0.52	0.41	0.34	0.29
4	0.75	0.54	0.42	0.35	0.29	0.68	0.51	0.40	0.33	0.28	0.63	0.48	0.39	0.32	0.27
5	0.66	0.49	0.39	0.33	0.28	0.60	0.46	0.38	0.32	0.27	0.56	0.44	0.36	0.31	0.26
6	0.59	0.45	0.37	0.31	0.26	0.54	0.43	0.35	0.30	0.26	0.51	0.41	0.34	0.29	0.25
7	0.54	0.41	0.34	0.29	0.25	0.49	0.39	0.33	0.28	0.25	0.47	0.38	0.32	0.28	0.24
8	0.49	0.38	0.32	0.28	0.24	0.45	0.37	0.31	0.27	0.24	0.43	0.35	0.30	0.26	0.23
9	0.45	0.36	0.30	0.26	0.23	0.42	0.34	0.29	0.26	0.23	0.40	0.33	0.29	0.25	0.22
10	0.42	0.34	0.29	0.25	0.22	0.39	0.32	0.28	0.24	0.22	0.37	0.31	0.27	0.24	0.21
12	0.37	0.30	0.26	0.23	0.20	0.35	0.29	0.25	0.22	0.20	0.33	0.28	0.25	0.22	0.20
14	0.33	0.27	0.24	0.21	0.19	0.31	0.26	0.23	0.20	0.19	0.30	0.26	0.22	0.20	0.18
16	0.30	0.25	0.22	0.19	0.18	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.27	0.23	0.21	0.19	0.17
18	0.28	0.23	0.20	0.18	0.16	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.25	0.22	0.19	0.18	0.16
20	0.26	0.21	0.19	0.17	0.16	0.24	0.21	0.18	0.17	0.15	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15

Quadro 10 – Transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico periférico horizontal, U_e em $W/m^2 \cdot ^\circ C$; $2,0 \leq R_n < 3,0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$; $0,06 \leq d_n < 0,08 \text{ m}$; $\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ C)$; $w \leq 0,40 \text{ m}$ [12]

	D = 0,5 m					D = 1,0 m					D = 1,5 m				
(m)	$R_f (\text{m}^2 \cdot ^\circ C/W)$					$R_f (\text{m}^2 \cdot ^\circ C/W)$					$R_f (\text{m}^2 \cdot ^\circ C/W)$				
B'	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
3	0.86	0.59	0.45	0.36	0.31	0.74	0.54	0.41	0.34	0.29	0.67	0.49	0.38	0.32	0.27
4	0.74	0.53	0.42	0.34	0.29	0.65	0.49	0.39	0.32	0.28	0.59	0.46	0.37	0.31	0.26
5	0.65	0.48	0.39	0.32	0.27	0.58	0.45	0.37	0.31	0.26	0.53	0.42	0.35	0.29	0.25
6	0.58	0.44	0.36	0.30	0.26	0.52	0.42	0.34	0.29	0.25	0.49	0.39	0.33	0.28	0.25
7	0.53	0.41	0.34	0.29	0.25	0.48	0.38	0.32	0.28	0.24	0.45	0.37	0.31	0.27	0.24
8	0.48	0.38	0.32	0.27	0.24	0.44	0.36	0.30	0.26	0.23	0.41	0.34	0.29	0.26	0.23
9	0.45	0.36	0.30	0.26	0.23	0.41	0.34	0.29	0.25	0.22	0.38	0.32	0.28	0.24	0.22
10	0.42	0.33	0.28	0.25	0.22	0.38	0.32	0.27	0.24	0.21	0.36	0.30	0.26	0.23	0.21

12	0.37	0.30	0.26	0.23	0.20	0.34	0.28	0.25	0.22	0.20	0.32	0.27	0.24	0.21	0.19
14	0.33	0.27	0.23	0.21	0.19	0.31	0.26	0.23	0.20	0.18	0.29	0.25	0.22	0.20	0.18
16	0.30	0.25	0.22	0.19	0.17	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.26	0.23	0.20	0.18	0.17
18	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.26	0.22	0.19	0.18	0.16	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16
20	0.25	0.21	0.19	0.17	0.15	0.24	0.20	0.18	0.17	0.15	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15


 Fig.15 – Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0$) com isolamento térmico periférico vertical [12]

Quadro 11 – Transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico periférico vertical, U_e em $W/m^2 \cdot ^\circ C$; $1,0 \leq R_n < 1,5 m^2 \cdot ^\circ C/W$; $0,04 \leq d_n < 0,06 m$; $\lambda = 2,0 W/(m \cdot ^\circ C)$; $w \leq 0,40 m$ [12]

	D = 0,5 m					D = 1,0 m					D = 1,5 m				
(m)	$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$					$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$					$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$				
B'	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
3	0.81	0.58	0.44	0.36	0.31	0.72	0.53	0.41	0.34	0.29	0.66	0.50	0.39	0.32	0.28
4	0.70	0.52	0.41	0.34	0.29	0.63	0.49	0.39	0.32	0.28	0.59	0.46	0.37	0.31	0.27
5	0.62	0.48	0.38	0.32	0.27	0.57	0.45	0.37	0.31	0.26	0.53	0.43	0.35	0.30	0.26
6	0.56	0.44	0.36	0.30	0.26	0.51	0.41	0.34	0.29	0.25	0.49	0.39	0.33	0.28	0.25
7	0.51	0.40	0.34	0.29	0.25	0.47	0.38	0.32	0.28	0.24	0.45	0.37	0.31	0.27	0.24
8	0.47	0.37	0.32	0.27	0.24	0.43	0.36	0.30	0.26	0.23	0.41	0.34	0.29	0.26	0.23
9	0.43	0.35	0.30	0.26	0.23	0.40	0.33	0.29	0.25	0.22	0.38	0.32	0.28	0.25	0.22
10	0.40	0.33	0.28	0.25	0.22	0.37	0.31	0.27	0.24	0.21	0.36	0.30	0.26	0.23	0.21
12	0.36	0.29	0.25	0.22	0.20	0.33	0.28	0.25	0.22	0.20	0.32	0.27	0.24	0.21	0.19
14	0.32	0.27	0.23	0.21	0.19	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18	0.29	0.25	0.22	0.20	0.18
16	0.29	0.24	0.21	0.19	0.17	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.26	0.23	0.20	0.18	0.17
18	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.25	0.22	0.19	0.18	0.16	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16
20	0.25	0.21	0.19	0.17	0.15	0.23	0.20	0.18	0.17	0.15	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15

Quadro 13 – Transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico periférico vertical, U_e em $W/m^2 \cdot ^\circ C$; $1,5 \leq R_n < 2,0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$; $0,04 \leq d_n < 0,08 \text{ m}$; $\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ C)$; $w \leq 0,40 \text{ m}$ [12]

	D = 0,5 m					D = 1,0 m					D = 1,5 m				
(m)	$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$					$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$					$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$				
B'	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
3	0.78	0.56	0.43	0.35	0.30	0.66	0.49	0.39	0.32	0.28	0.60	0.45	0.36	0.30	0.26
4	0.68	0.51	0.40	0.33	0.28	0.59	0.46	0.37	0.31	0.27	0.55	0.43	0.35	0.29	0.25
5	0.60	0.46	0.38	0.32	0.27	0.53	0.43	0.35	0.30	0.26	0.50	0.40	0.33	0.28	0.25
6	0.54	0.43	0.35	0.30	0.26	0.49	0.39	0.33	0.28	0.25	0.45	0.37	0.32	0.27	0.24
7	0.49	0.39	0.33	0.28	0.25	0.45	0.37	0.31	0.27	0.24	0.42	0.35	0.30	0.26	0.23
8	0.45	0.37	0.31	0.27	0.24	0.41	0.34	0.29	0.26	0.23	0.39	0.33	0.28	0.25	0.22
9	0.42	0.34	0.29	0.26	0.23	0.38	0.32	0.28	0.25	0.22	0.36	0.31	0.27	0.24	0.21
10	0.39	0.32	0.28	0.24	0.22	0.36	0.30	0.26	0.23	0.21	0.34	0.29	0.26	0.23	0.20
12	0.35	0.29	0.25	0.22	0.20	0.32	0.27	0.24	0.21	0.19	0.30	0.26	0.23	0.21	0.19
14	0.31	0.26	0.23	0.21	0.19	0.29	0.25	0.22	0.20	0.18	0.27	0.24	0.21	0.19	0.18
16	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.26	0.23	0.20	0.18	0.17	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17
18	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.23	0.21	0.19	0.17	0.16
20	0.24	0.21	0.18	0.17	0.15	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.22	0.19	0.17	0.16	0.15

Quadro 12 – Transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico periférico vertical, U_e em $W/m^2 \cdot ^\circ C$; $2,0 \leq R_n < 3,0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$; $0,06 \leq d_n < 0,08 \text{ m}$; $\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ C)$; $w \leq 0,40 \text{ m}$ [12]

	D = 0,5 m					D = 1,0 m					D = 1,5 m				
(m)	$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$					$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$					$R_f (m^2 \cdot ^\circ C/W)$				
B'	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
3	0.76	0.55	0.42	0.34	0.29	0.63	0.47	0.37	0.31	0.27	0.56	0.42	0.34	0.28	0.25
4	0.66	0.50	0.40	0.33	0.28	0.57	0.44	0.36	0.30	0.26	0.51	0.41	0.33	0.28	0.24
5	0.59	0.46	0.37	0.31	0.27	0.51	0.41	0.34	0.29	0.25	0.47	0.38	0.32	0.27	0.24
6	0.53	0.42	0.35	0.30	0.26	0.47	0.38	0.32	0.28	0.24	0.43	0.36	0.31	0.26	0.23
7	0.48	0.39	0.33	0.28	0.24	0.43	0.36	0.30	0.26	0.23	0.40	0.34	0.29	0.25	0.22
8	0.45	0.36	0.31	0.27	0.23	0.40	0.33	0.29	0.25	0.22	0.37	0.32	0.28	0.24	0.22
9	0.41	0.34	0.29	0.25	0.22	0.37	0.31	0.27	0.24	0.22	0.35	0.30	0.26	0.23	0.21
10	0.39	0.32	0.27	0.24	0.21	0.35	0.30	0.26	0.23	0.21	0.33	0.28	0.25	0.22	0.20

12	0.34	0.29	0.25	0.22	0.20	0.31	0.27	0.24	0.21	0.19	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19
14	0.31	0.26	0.23	0.20	0.18	0.28	0.24	0.22	0.20	0.18	0.27	0.23	0.21	0.19	0.17
16	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.26	0.23	0.20	0.18	0.17	0.24	0.22	0.19	0.18	0.16
18	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.22	0.20	0.18	0.17	0.15
20	0.24	0.21	0.18	0.17	0.15	0.22	0.19	0.18	0.16	0.15	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15

3.4.2. PAVIMENTO EM CONTACTO COM O TERRENO ($z > 0$ M)

O coeficiente de transmissão térmica superficial equivalente (U_e) de um pavimento em contacto com o terreno mas enterrado relativamente a este, expresso em $W/m^2 \cdot ^\circ C$ é determinado segundo as expressões 26 e 27, dependendo da espessura equivalente do pavimento, obtida através da expressão 3 e da diferença de nível entre a cota da superfície do terreno e a da superfície inferior do pavimento.

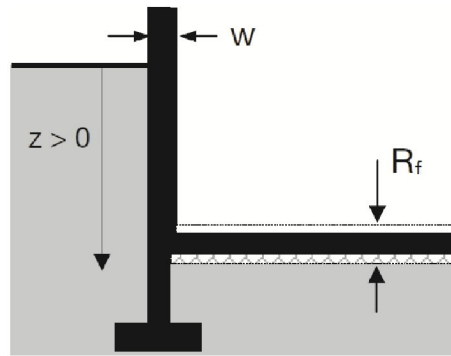


Fig.16 – Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0$) [12]

Se $(d_t + z/2) < B'$

$$U_e = \frac{2 \times \lambda_s}{\pi \times B' + d_t + \frac{z}{2}} \times \ln \left(\frac{\pi \times B'}{d_t + \frac{z}{2}} + 1 \right) \quad (26)$$

Se $(d_t + z/2) \geq B'$

$$U_e = \frac{\lambda_s}{0.457 \times B' + d_t + \frac{z}{2}} \quad (27)$$

3.4.3. PAREDES EM CONTACTO COM O TERRENO

O coeficiente de transmissão térmica superficial equivalente (U_e) de uma parede em contacto com o terreno, expresso em $W/m^2 \cdot ^\circ C$ é determinado segundo as expressões 28 ou 29, dependendo da relação entre d_w e d_t .

Se $d_w \geq d_t$

$$U_e = \frac{2 \times \lambda_s}{\pi \times z} \times \left(1 + \frac{0,5 \times d_t}{d_t + z} \right) \times \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (26)$$

Se $d_w < d_t$

$$U_e = \frac{2 \times \lambda_s}{\pi \times z} \times \left(1 + \frac{0,5 \times d_w}{d_w + z} \right) \times \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (27)$$

3.5. APLICAÇÃO DOS MODELOS

3.5.1. EDIFÍCIOS ESQUEMÁTICOS

Depois de uma descrição dos diferentes métodos utilizados nos países seleccionados e do método de cálculo proposto pela norma ISO 13370 [02], interessa perceber como variam, na prática, os resultados das respectivas aplicações. A partir daí é então possível comparar resultados e perceber as vantagens e inconvenientes de aplicação de cada um deles.

Para a presente investigação, foram idealizadas nove configurações esquemáticas de edifícios com elementos em contacto com o terreno, as quais nos poderão proporcionar uma maior sensibilidade nos resultados. Em todos os edifícios a constituição do pavimento e das paredes são idênticas, variando apenas o facto de ser aplicado ou não o isolamento térmico no pavimento e a forma como este está disposto. As Fig.17, Fig.18, Fig.19 e Fig.20 esquematizam a constituição destes elementos.

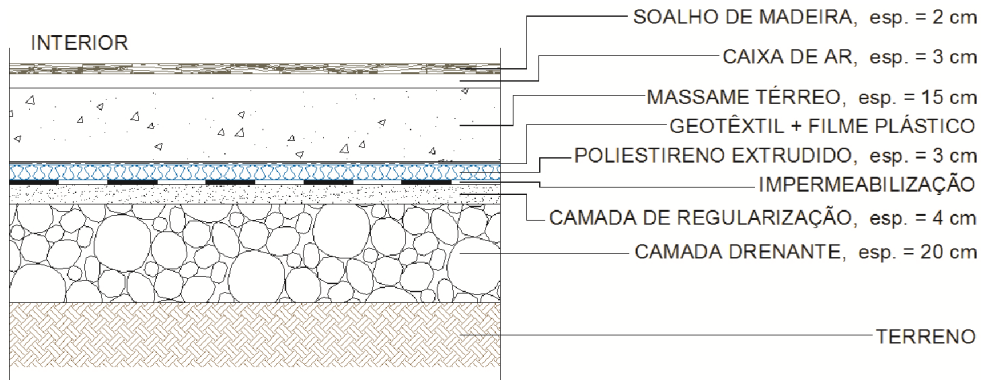


Fig.17 – Pavimento com isolamento em toda a área para os edifícios esquemáticos

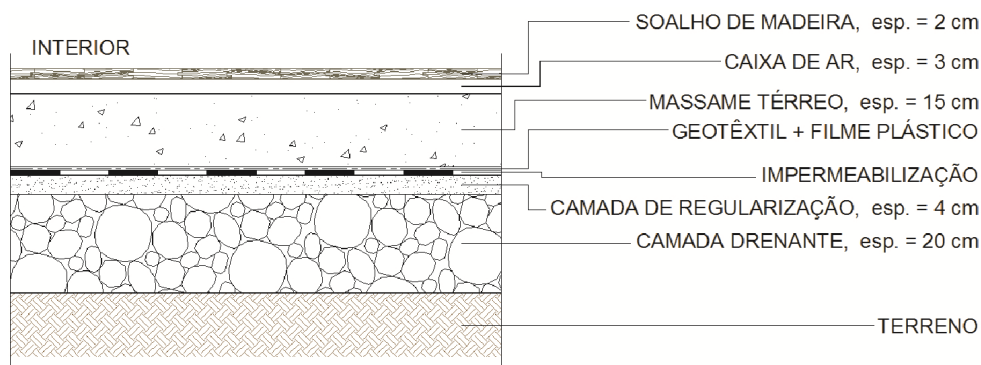


Fig.18 – Pavimento sem isolamento para os edifícios esquemáticos

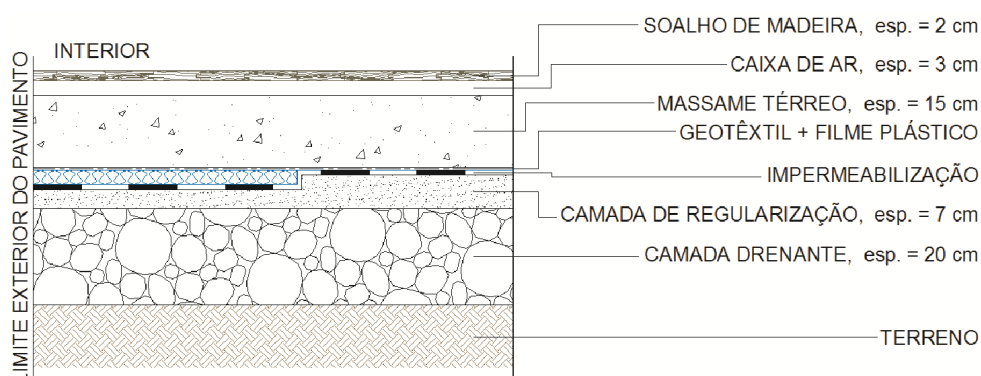


Fig.19 – Pavimento com isolamento perimetral para os edifícios esquemáticos

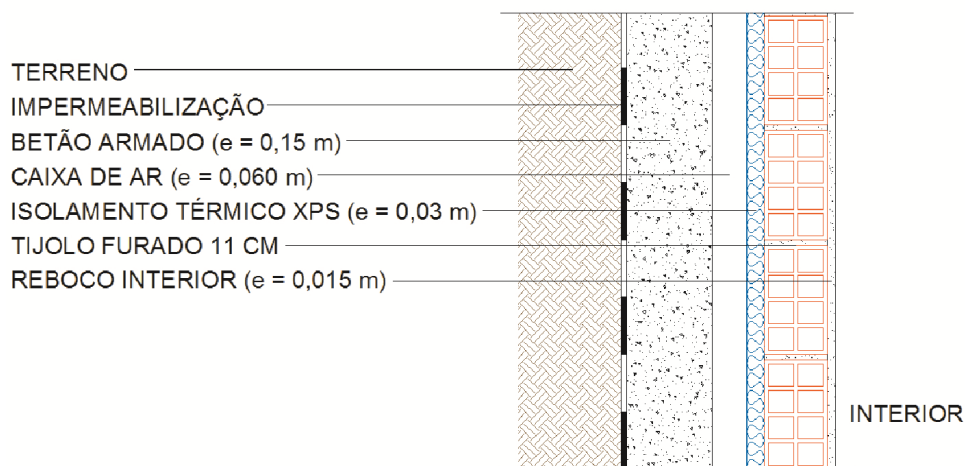


Fig.20 – Parede em contacto com o terreno para os edifícios esquemáticos

Como forma de perceber melhor quais as influências da aplicabilidade das diferentes formas de cálculo praticadas nos diversos países, no que concerne às perdas pelos elementos em contacto com o terreno, foi efectuada o cálculo térmico de três edifícios reais (casos práticos de aplicação). Todos eles se tratam de moradias unifamiliares que, de alguma forma, perdem energia através do terreno. É então possível observar a forma como o valor das necessidades anuais de aquecimento do edifício poderá variar dependendo da forma como as perdas em análise são calculadas.

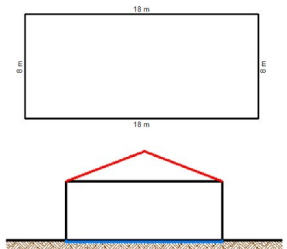
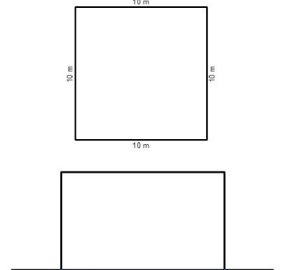
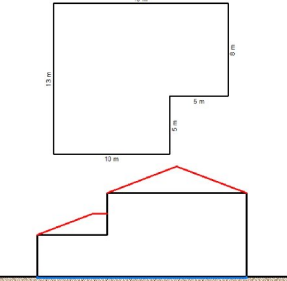
Uma vez que as configurações dos edifícios esquemáticos de aplicação podem ser idealizadas, foi procurada uma variação de características que influenciem o valor das perdas pelos elementos em contacto com o terreno. Serão denominados por “Edifícios Esquemáticos” já que se tratam de idealizações e não de casos reais.

A forma e tamanho do pavimento alteram o valor da dimensão característica do pavimento quando variadas. Pela análise da equação 2, observa-se que para obter um maior valor deste parâmetro, o ideal será ter a maior área e menor perímetro possíveis. Para a situação inversa, fazer que a área seja menor para um perímetro aproximadamente igual será suficiente, situação facilmente conseguida com a transformação de um ângulo de canto saliente em ângulo de canto reentrante e dois salientes.

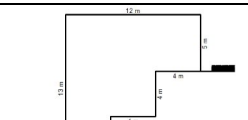
3.5.1.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

As amostras consideradas podem ser observadas em maior detalhe no Anexo A.1.

Quadro 13 – Descrição dos Edifícios Esquemáticos

Designação	Descrição	Esquema
Edifício Esquemático 1 (A.1)	<ul style="list-style-type: none"> - Edifício alongado - Pavimento de forma rectangular ($z = 0,00$ m) - Isolamento em toda a área de pavimento - Paredes laterais com 0,365 m 	
Edifício Esquemático 2 (A.2)	<ul style="list-style-type: none"> - Casa tipicamente portuguesa - Pavimento de forma quadrada ($z = 0,00$ m) - Isolamento em toda a área de pavimento - Paredes laterais com 0,365 m 	
Edifício Esquemático 3 (A.3)	<ul style="list-style-type: none"> - Geometria do pavimento pouco complexa ($z = 0,00$ m) - Isolamento em toda a área de pavimento - Paredes laterais com 0,365 m 	

<p>Edifício Esquemático 4 (A.4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Geometria do pavimento pouco complexa ($z = 0,00\text{m}$) - Isolamento numa faixa perimetral com 1,50 m - Paredes laterais com 0,365 m 	
<p>Edifício Esquemático 5 (A.5)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Geometria do pavimento complexa ($z = 0,00\text{ m}$) - Isolamento numa faixa perimetral com 1,50 m - Paredes laterais com 0,365 m 	
<p>Edifício Esquemático 6 (A.6)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Edifício alongado - Pavimento de forma rectangular ($z = 0,00\text{ m}$ e $z = 2,50\text{ m}$) - Isolamento em toda a área de pavimento - Parede em contacto com o terreno ($z = 2,50\text{ m}$) - Paredes laterais com 0,365 m 	
<p>Edifício Esquemático 7 (A.7)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Casa tipicamente portuguesa - Pavimento de forma quadrada ($z = 0,00\text{ m}$ e $z = 3,00\text{ m}$) - Isolamento em toda a área de pavimento - Paredes em contacto com o terreno ($z = 3,00\text{ m}$) - Paredes laterais com 0,365 m 	
<p>Edifício Esquemático 8 (A.8)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Geometria do pavimento pouco complexa ($z = 0,00\text{ m}$ e $z = 2,00\text{ m}$) - Pavimento sem isolamento - Paredes em contacto com o terreno ($z = 2,00\text{ m}$) - Paredes laterais com 0,365 m 	

<p>Edifício Esquemático 9 (A.9)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Geometria do pavimento pouco complexa ($z = 0,00\text{ m}$ e $z = 3,00\text{ m}$) - Pavimento sem isolamento - Paredes em contacto com o terreno ($z = 3,00\text{ m}$) - Paredes laterais com $0,365\text{ m}$ 	
---	---	---

3.5.1.2. Cálculo das perdas de calor pelos elementos em contacto com o terreno - Edifícios esquemáticos

Depois de bem definidos os exemplos, procede-se então ao cálculo das perdas térmicas. Este será sequencial por Exemplo e por método de cálculo.

A ordem dos exemplos será a apresentada anteriormente. Quanto à ordem dos métodos de cálculo, numa primeira abordagem será efectuado utilizando na íntegra o que está previsto no regulamento português (RCCTE) [03], tomando os valores obtidos como base de comparação com os restantes resultados. De seguida é efectuado o cálculo tendo por base o método utilizado no regulamento espanhol (DB-HE) [08]. Posteriormente a abordagem é feita segundo o método francês (Règles Th-U) [12]. Para finalizar, é seguido exposto na norma ISO 13370 [02].

Para todos os cálculos, a nomenclatura utilizada é a descrita em cada um dos regulamentos ou na norma. O valor do coeficiente de condutibilidade térmica para o isolamento, quando utilizado, é de $0.037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Todas as equações utilizadas nos cálculos são também as já expostas no Capítulo 2 e ao longo do Capítulo 3. Os diversos parâmetros que vão sendo obtidos nos cálculos, são utilizados dentro do mesmo Exemplo, não havendo repetição da sua obtenção. Entre Exemplos tal não acontece para que seja mais explícita a sua obtenção e utilização.

Não são conhecidas as propriedades do solo em qualquer dos casos.

O Anexo A.25 detalha todo o processo de cálculo efectuado e relativo às perdas pelos elementos em contacto com o terreno para os edifícios esquemáticos.

No Quadro 14 são sintetizados os resultados obtidos para este cálculo.

Quadro 14 – Perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno para os Edifícios Esquemáticos

Exemplo	Regulamento Português	Regulamento Espanhol	Regulamento Francês	ISO 13370
	$L_{pe} (W/^\circ C)$	$U_{Tm} (W/^\circ C)$	$H_g (W/^\circ C)$	$H_g (W/^\circ C)$
A.1	62,4	79,63	52,13	50,98
A.2	48	58,4	37,8	36,7
A.3	67,2	88,74	58,99	57,97
A.4	67,2	88,74	72,93	72,93
A.5	60	67,28	42,55	41,69

A.6	82,2	86,72	65,89	65,14
A.7	81	73,29	63,53	63,25
A.8	86,8	123,17	95,87	95,87
A.9	78	99,7	81,5	81,5

3.5.1.3. Análise dos resultados obtidos - Edifícios esquemáticos

Uma vez efectuado o cálculo térmico para os elementos em contacto com o terreno de cada um dos edifícios, é perceptível a variação de resultados de acordo com o método utilizado. É ainda notória a maior ou menor complexidade para chegar ao valor total da perda térmica do edifício através destes elementos.

Numa primeira análise e para uma melhor percepção dos resultados obtidos, pode-se observar a Fig.21, que retrata a situação conjunta de resultados.

O primeiro impacto causado é que o regulamento espanhol penaliza bastante os edifícios no que diz respeito às perdas pelos elementos em estudo, face aos restantes regulamentos ou à norma. Já os métodos utilizados tanto na regulamentação francesa como na norma ISO 13370 [02], permitem a obtenção de resultados muito semelhantes e cujos valores são, na generalidade, os que menos penalizam os edifícios no âmbito da análise em estudo.

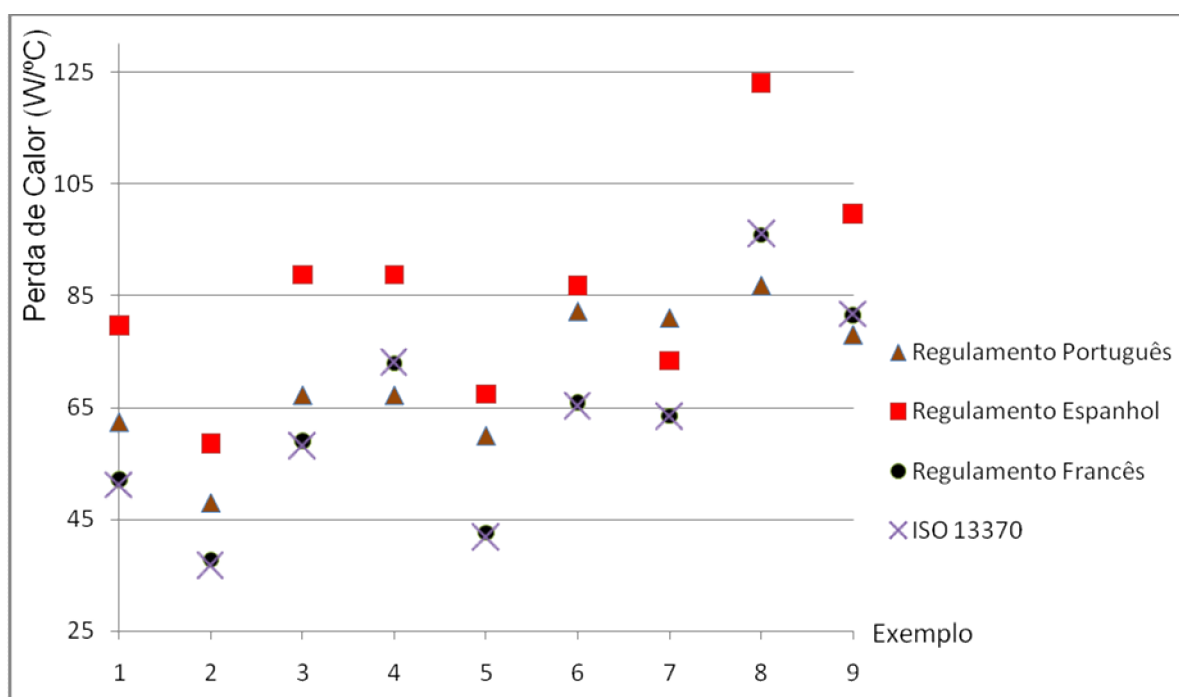


Fig.21 – Perdas térmicas globais nos Edifícios Esquemáticos

Partindo agora para uma análise mais cuidada dos resultados obtidos para a simples aplicação dos diferentes métodos de cálculo a cada um dos edifícios esquemáticos, será possível avaliar quais as vantagens ou inconvenientes que a utilização de cada um poderá proporcionar, quer a nível de

processo de cálculo em si, quer a nível de penalização ou despenalização na quantificação das perdas em estudo nos edifícios, face às perdas reais.

No Quadro 14 é possível observar mais precisamente o valor das perdas térmicas para cada uma das aplicações efectuadas anteriormente. É ainda indicado o valor da dimensão característica do pavimento em contacto com o terreno para se tentar perceber se este poderá estar directamente relacionado com os resultados obtidos. De notar que, apesar das diferentes notações utilizadas pelos vários países e pela norma em análise para a perda térmica, as unidades finais são iguais para todos, podendo estes serem todos directamente comparados entre si.

Conforme já observado na Fig. 21, percebe-se que, numericamente, as diferenças entre valores de resultados consequentes da aplicação de diferentes metodologias, são significativas. Tal como se observa na Fig.22, o regulamento português chega a agravar as perdas térmicas através dos elementos em estudo, em cerca de 40% face ao regulamento francês e à norma ISO 13370, situação que ocorre para o Edifício Esquemático 5.

Já quando comparado nos Edifícios Esquemáticos 1, 2, 3, 6 e 7, o nosso regulamento agrava as perdas mas desta vez no intervalo dos 15% a 25%. Por outro lado, para os edifícios Esquemáticos 4, 8 e 9, o regulamento português desagrava as perdas em cerca de 10% relativamente ao regulamento francês e à norma em análise.

Quando passamos a comparar com a regulamentação espanhola, salvo no caso do Edifício Esquemático 7, o regulamento português é menos gravoso que este. Sumariamente, esse desagravamento andarà na casa do 20%. No Edifício Esquemático 7 as perdas térmicas já são mais agravadas pelo nosso regulamento e em cerca de 10%, o que não é deveras significativo.

Uma outra forma de análise dos resultados obtidos, centrou-se numa comparação destes com os que a norma ISO 13370 nos proporciona pois, sendo esta a norma de referência para o cálculo térmico de elementos em contacto com o terreno, é importante verificar os desvios que cada regulamento apresenta face a esta.

Quando se observa a Fig. 22, mais uma vez se constata que os resultados obtidos após aplicar o regulamento francês se assemelham bastante aos da norma. Já por aplicação dos outros dois regulamentos, verifica-se que as discrepâncias são relativamente significativas.

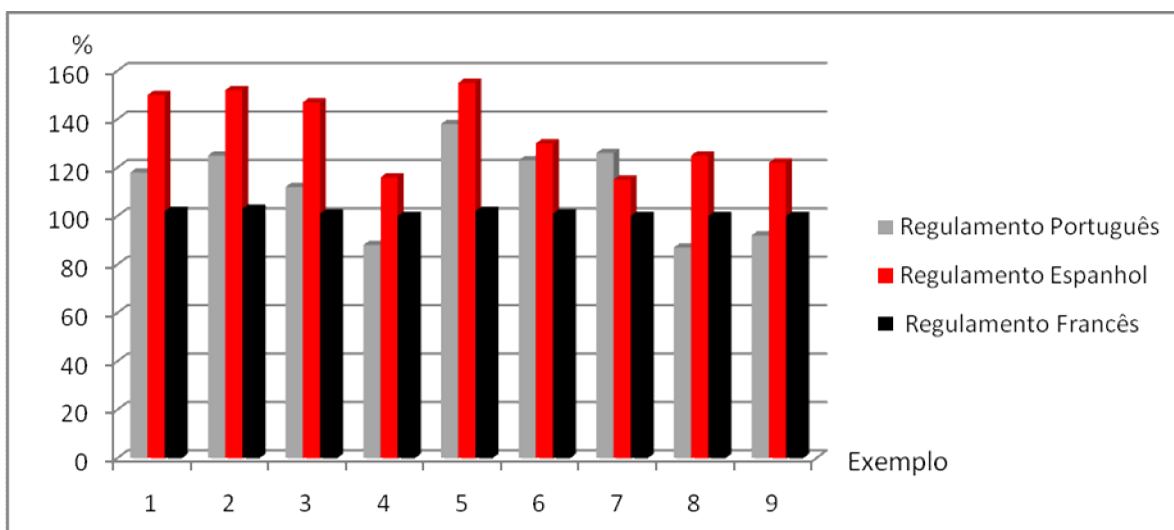


Fig.22 – Variação entre os resultados da aplicação dos 3 Regulamentos e os da norma ISO 13370

Sabendo que a referência adoptada em termos de cálculos térmicos pelos elementos em contacto com o terreno é a norma ISO 13370, e como forma de orientação, todas as análises efectuadas terão como objecto comparativo este documento.

ISO 13370

A análise dos resultados obtidos quando utilizada a metodologia proposta na norma, funcionará como uma forma de adquirir sensibilidade para a grandeza das perdas térmicas por cada um dos elementos em contacto com o terreno e para cada Edifício Esquemático. A Fig.23 mostra a distribuição das perdas para cada um dos Edifícios Esquemáticos.

Todos os edifícios possuem perdas térmicas por pavimentos em contacto com o terreno ($z \geq 0$ m), sendo estas bastante expressivas nos edifícios 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 8, onde representam a maioria das perdas de calor.

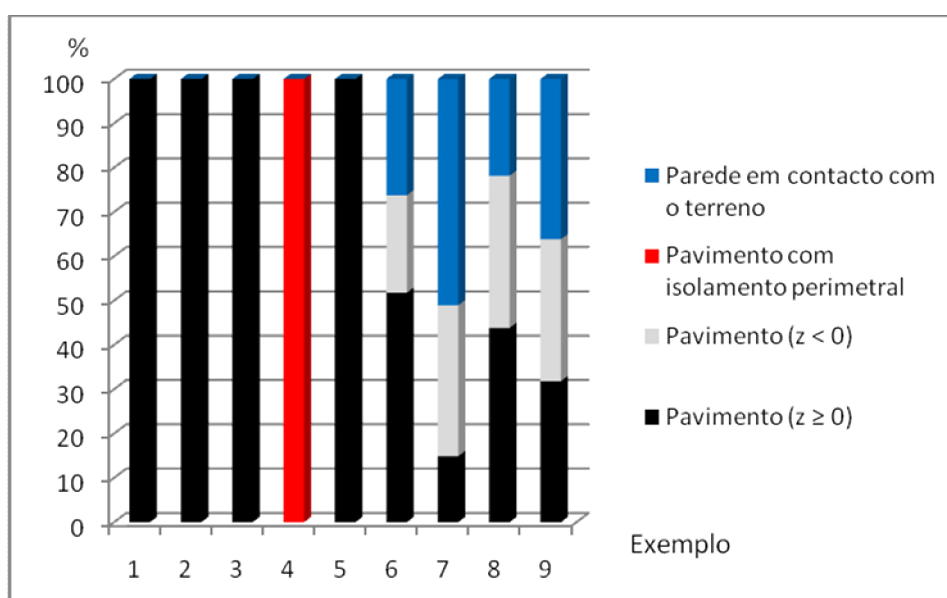


Fig.23 – Distribuição das perdas térmicas utilizando a norma ISO 13370 nos Edifícios Esquemáticos

A aplicação desta norma na íntegra fornece os resultados mais precisos. No entanto esta aplicação pressupõe apenas o uso de fórmulas de cálculo, o que poderá não ser muito cómodo. A sua utilização é ainda dificultada uma vez que este não é um documento gratuito e, portanto, não está acessível a todos aqueles que dela possam necessitar.

Regulamentação Francesa

Começando pela regulamentação francesa, esta contém um método de cálculo bastante semelhante ao que a norma em estudo propõe, introduzindo pequenas simplificações e tabelando apenas os casos de pavimentos em que existe isolamento periférico ou perimetral e o caso de todo o pavimento assente terreno não ser enterrada ($z \geq 0$ m) e ser completamente isolada, já que a regulamentação térmica francesa impõe a aplicação de um isolamento térmico em qualquer pavimento em contacto com o

terreno. Todas as restantes situações são contabilizadas utilizando fórmulas de cálculo que são idênticas às que contém as norma ISO 13370. Face a tão poucas simplificações relativamente a esta norma, os resultados para o cálculo total das perdas térmicas em análise neste estudo, são muito idênticos aos obtidos por ela. Nos Edifícios Esquemáticos abordados, a diferença máxima foi de 3% (superior ao da norma) e logicamente, para os casos em que o pavimento não enterrado representa a maioria das perdas totais (Edifícios Esquemáticos 1, 2, 3, 5 e 6, como pode ser observado na Fig. 24 e cujo cálculo foi efectuado utilizando as tabelas simplificativas.

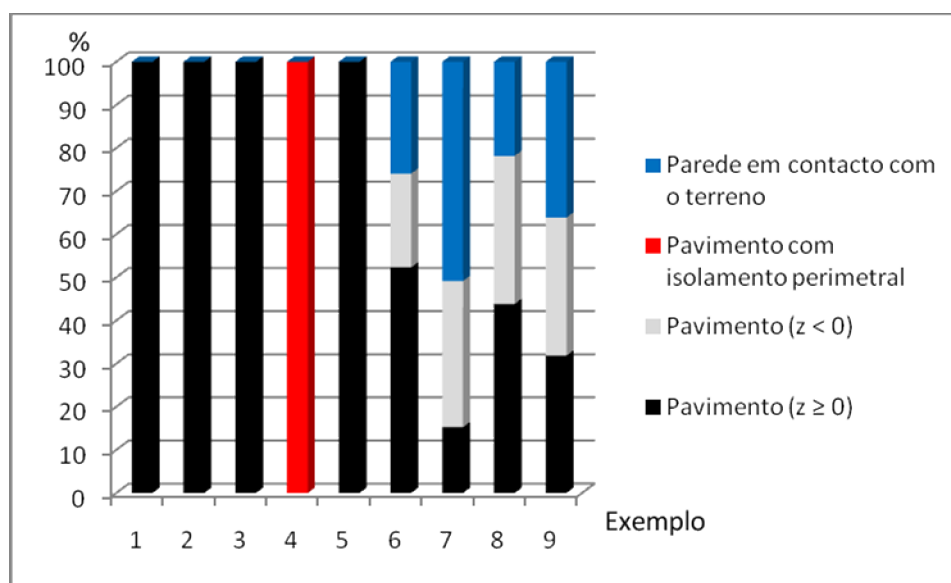


Fig.24 – Distribuição das perdas térmicas utilizando a regulamentação francesa nos Edifícios Esquemáticos

Os resultados são bastante idênticos aos normalizados mas o processo de cálculo também o é, o que obriga a trabalhar com equações de relativa complexidade e ser conhecer exactamente as características dos elementos em contacto com o terreno e do terreno. Acaba-se por não simplificar muito o método de cálculo relativamente ao da norma, seguindo esta quase na íntegra. Por outro lado, é importante realçar que para as situações tabeladas, quando determinados parâmetros não coincidem com os lá sugeridos, é necessário recorrer a interpolações ou pequenas extrapolações, o que poderá aumentar a dificuldade e tempo de cálculo, nomeadamente, se os parâmetros não coincidentes forem mais que um. Gera-se então uma situação controversa em que por um lado não simplificando ter-se-á que efectuar imensos cálculos mas simplificando, poderá originar-se também um processo que obriga a alguns cálculos.

Regulamentação Espanhola

Tal como anteriormente se verificou, a aplicação do regulamento espanhol torna-se um pouco penalizadora para a quantificação das perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno.

Observando mais atentamente a Fig. 52, conclui-se que por aplicação da regulamentação espanhola e face à aplicação da norma ISO 13370, o agravamento é elevado, chegando mesmo a 55% no caso do Edifício Esquemático 5 e andando na casa dos 50% para os Edifícios Esquemáticos 1, 2 e 3. No sentido de apurar a razão pela qual tal se sucede, foram determinadas quais as características comuns

entre estes quatro edifícios, verificando-se que todos eles apenas contêm o pavimento em contacto com o terreno. Depois de uma leitura atenta da regulamentação em causa, percebe-se que contrariamente à regulamentação francesa e à norma ISO 13370 em que é considerada a resistência térmica de todos os elementos que constituem o pavimento, em Espanha apenas se considera a contribuição da resistência térmica do isolamento térmico, o que acaba de certa forma por penalizar a quantificação de perdas térmicas. Outra situação observada e que justifica a opção de apenas se considerar a resistência térmica do isolamento térmico é o facto de estarem tabeladas as situações em que o isolamento periférico tem uma largura de 0,50 metros, 1 metro ou então igual ou superior a 1,5 metros. Desta forma, é igual em termos de cálculo isolar toda a área de pavimento ou apenas uma faixa periférica com 1,5 metros de largura. A situação em que não é isolado o pavimento também está simplificada na tabela e, logicamente é mais penalizante do que quando se dispõe de isolamento.

Um outro aspecto a salientar e que se revela de certa forma importante é a variação que ocorre na razão entre os resultados da aplicação do regulamento espanhol e os da norma ISO 13370, em função da dimensão característica do pavimento.

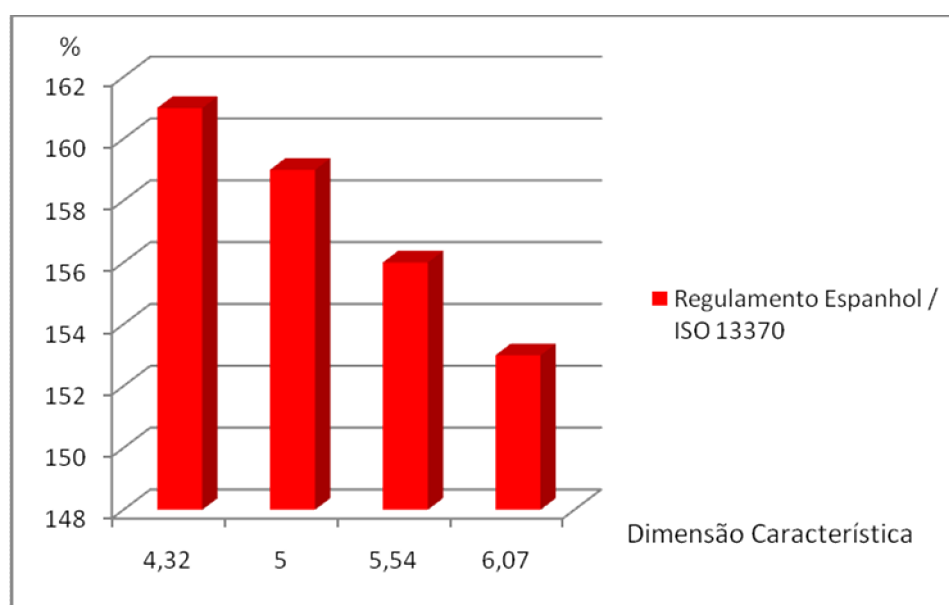


Fig.25 – Razão entre os resultados do regulamento espanhol e os da norma ISO 13370 nos Edifícios Esquemáticos 1, 2, 3 e 5

Por observação da Fig. 25, verifica-se que quanto menor for o valor da dimensão característica do pavimento, maior é o agravamento dos resultados obtidos, face aos da norma ISO 13370. Este fenómeno poderá ser explicado pelo facto de esta dimensão característica ser tanto menor quanto maior é a razão perímetro/área do edifício. Se um edifício tem um grande perímetro para uma pequena área significa que, à partida, os limites laterais do pavimento não estarão muito afastados entre si, o que se traduz numa maior proximidade dos pontos mais interiores do pavimento com o exterior. A quantidade de calor transmitida para o exterior através do terreno é tanto menor quanto maior for a distância que este terá que percorrer até atingir o ambiente exterior, facto este que está relacionado com uma maior resistência encontrada no percurso. A situação está esquematizada na Fig.26 em que, hipoteticamente, os fluxos são representados por setas e estas são tanto mais espessas quanto maior for o seu valor.

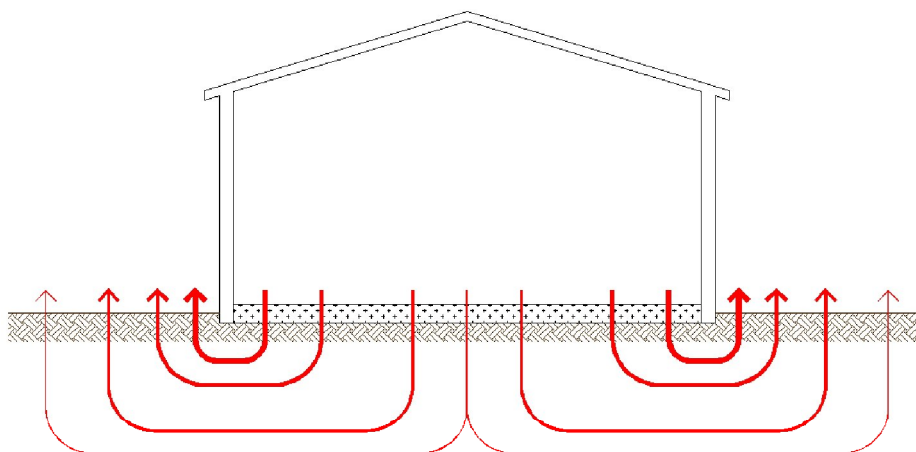


Fig.26 – Fluxos de calor transmitidos através do pavimento para o terreno

As perdas pelo pavimento quando este é apenas isolado perimetralmente já se aproximam mais daquelas que são obtidas por aplicação da norma ISO 13370, visto esta ser uma situação em que são aproximadamente os mesmos elementos que se têm em consideração no referido cálculo (isolamento perimetral e respectiva disposição). Na norma ISO 13370 e ao invés do regulamento espanhol, é considerada a resistência térmica do restante pavimento mas, analisando bem, esta terá sempre um valor baixo se este não for isolado, o que justifica um agravamento apenas na casa dos 15% por aplicação do regulamento espanhol a este tipo de edifício, como pode ser observado na Fig. 22 para o Edifício Esquemático 4.

Na Fig.26 observa-se que os pavimentos tratados como possuindo isolamento perimetral são predominantes nos Edifícios Esquemáticos. Estabelecendo uma analogia entre os resultados expostos na Fig.27 e os da Fig. 22, percebe-se que as perdas pelo pavimento quando este não é isolado e não está enterrado, representam parcelas significativas nas perdas totais nos Edifícios Esquemáticos 8 e 9. No caso do Edifício Esquemático 8 essas perdas representam 50% das totais e no Edifício Esquemático 9 representam 39%. Mais uma vez se percebe que o regulamento espanhol penaliza consideravelmente este tipo de pavimentos. Tal como se pode observar na Fig.23, referente à norma ISO 13370, estas perdas e para os Edifícios Esquemáticos anteriores deveriam representar apenas 45% e 30%, respectivamente.

Quanto a perdas térmicas pelas pelos pavimentos enterrados, a aproximação de valores com os obtidos utilizando a norma já é perceptível, concluindo-se então que a situação não é tão penalizadora. Isto deve-se ao facto de tanto na norma como no regulamento espanhol, já ser considerada a resistência térmica total do pavimento. As diferenças são inerentes a arredondamentos resultantes das simplificações que a tabela introduz.

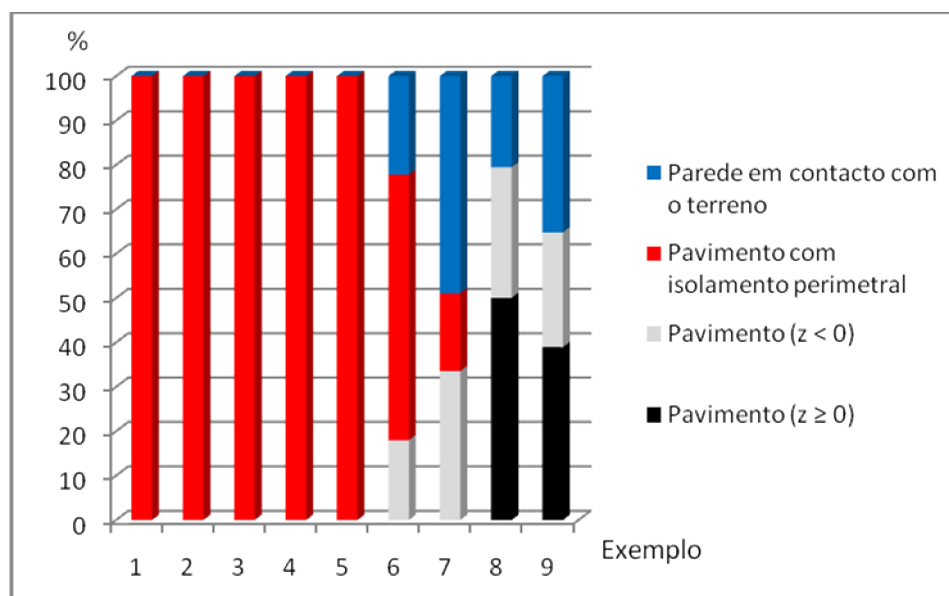


Fig.27 – Distribuição das perdas térmicas utilizando a regulamentação espanhola nos Edifícios Esquemáticos

As paredes em contacto com o terreno são outro elemento cujas variações das suas perdas térmicas relativamente à norma ISO 13370 são notórias mas não muito significativas para os Edifícios Esquemáticos em estudo, uma vez que as perdas térmicas através deste elemento apenas representam metade das totais no Edifício Esquemático 7 e são inferiores nos restantes. Esta diferença centra-se no intervalo aproximadamente compreendido entre os 10% e os 20% a mais para a regulamentação espanhola.

Mais uma vez e analisando as metodologias de cálculo tanto do regulamento espanhol como da norma ISO 13370, percebe-se que a diferença entre elas e que explicará a pequena discrepância de resultados, resume-se ao facto de, na norma, ser considerada no cálculo a espessura equivalente das paredes enterradas sempre que esta é inferior à espessura equivalente do pavimento. Na regulamentação espanhola, considera-se sempre a utilização da espessura equivalente da parede.

Regulamentação Portuguesa

Partindo para uma análise dos resultados da aplicação da actual metodologia de cálculo portuguesa, percebe-se que estes são maioritariamente inferiores aos da aplicação do regulamento espanhol e maioritariamente superiores aos resultantes da aplicação da regulamentação francesa e da norma ISO 13370.

Numa observação mais atenta e crítica da Fig.22, constata-se que à semelhança do regulamento espanhol, para os casos em que o pavimento térreo não enterrado é preponderante, existe um agravamento na quantificação do calor perdido pelo edifício.

Como anteriormente explicado na metodologia de cálculo adoptada em Portugal, para os pavimentos em contacto com o terreno, considera-se que estes ou são isolados perimetralmente e mediante o respectivo valor da resistência térmica do isolamento térmico utilizado e a diferença de nível entre o terreno e o pavimento, obtém-se o valor para a perda térmica linear ou, então, não são isolados e, mediante a mesma diferença de nível, se obtém diferentes coeficientes para a perda térmica. Esta situação restringe bastante a classificação dos pavimentos tal como acontece em Espanha. Pavimentos

com isolamento térmico em toda a sua área são equiparados, mais uma vez, a pavimentos com isolamento térmico apenas na sua periferia, o que na realidade despreza o efeito que tem todo o restante isolamento.

Comparativamente com os resultados obtidos por aplicação da norma ISO 13370, para esta situação de pavimento, os resultados portugueses são maiores em valor e esta diferença situa-se entre os 10% e os 40% para os Edifícios Esquemáticos 1, 2, 3 e 5. A discrepância é grande para estes exemplos uma vez que as perdas térmicas lineares que caracterizam os pavimentos e estão no regulamento português, não consideram a forma deste e a sua constituição. Considera que as perdas são iguais quer para um pavimento alongado, quer para um pavimento mais concêntrico ou, ainda outro exemplo, quer para um pavimento cuja resistência térmica do seu isolamento é $0,50 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$, quer para um outro pavimento cuja resistência térmica do seu isolamento é $1,50 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$. Como consequência desta simplificação, certos edifícios são bastante penalizados pois possuem características que lhes permitem ter menos perdas térmicas que as calculadas.

Por análise da Fig.28 nota-se, para o Edifício Esquemático 6, que o pavimento não enterrado e totalmente isolado é responsável pela maioria das perdas térmicas através do solo. Esta situação ocorre porque à semelhança dos Edifícios Esquemáticos anteriores, considera-se que este apenas possui isolamento perimetral, com o devido agravamento face à norma ISO 13370 que daí poderá advir, tal como explicado anteriormente. Quanto ao pavimento enterrado, na realidade, também é considerado um pavimento com isolamento perimetral, sendo apenas separado em pavimento enterrado para que se possa estabelecer uma analogia com a aplicação dos restantes regulamentos térmicos e com a norma. Esta mesma situação acontece com o Edifício Esquemático 7 em que as perdas pelo pavimento são na ordem dos 60% e o que, tal como se poderá verificar na Fig.22, fará de Portugal o país onde a situação é mais penalizadora.

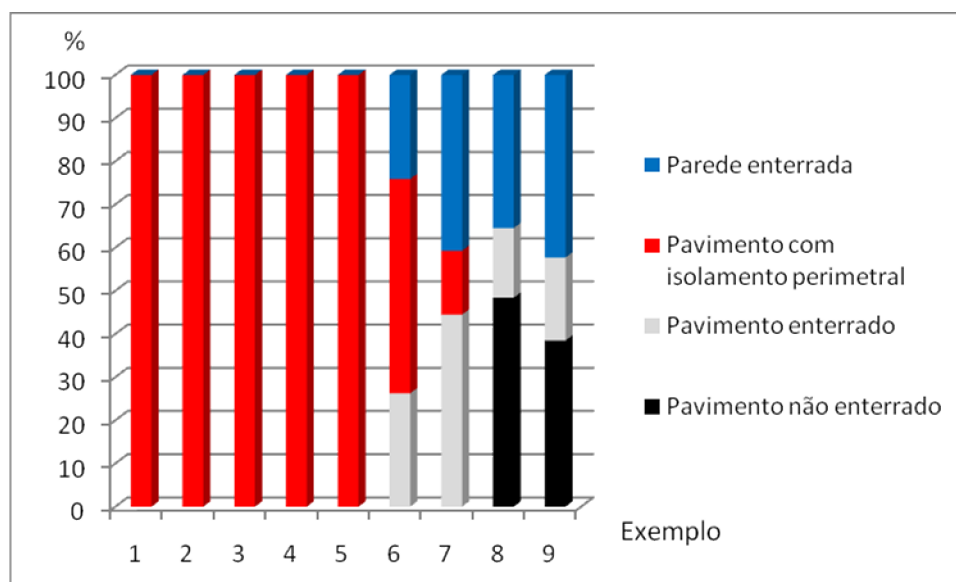


Fig.28 – Distribuição das perdas térmicas utilizando a regulamentação portuguesa nos Edifícios Esquemáticos

Analisando agora a situação em que o pavimento não é isolado, percebe-se pela Fig.28, que para os Edifícios Esquemáticos 8 e 9 estes são responsáveis por grande parte das perdas térmicas dos edifícios correspondentes sem nunca, no entanto, chegar à maioria destas. Como para este caso não é tão fácil perceber o valor das perdas térmicas por este tipo de elementos ao observar as Fig.22 e Fig.28, poder-

se-á recorrer à Fig.29 que já tem os valores absolutos destas perdas para estes Edifícios Esquemáticos e compara-os utilizando os diversos regulamentos e norma em estudo. Numa primeira análise a esta figura, percebe-se que existe uma grande discrepância dos resultados portugueses face aos restantes. Estes chegam a ser menos de 50% dos equivalentes por aplicação das outras metodologias de cálculo.

Depois de estudado o método de cálculo português, sabe-se que este contempla uma tabela com os valores das perdas térmicas lineares pelos pavimentos em contacto com o terreno e sem isolamento térmico. Nesta tabela os intervalos entre diferenças de nível entre a face superior do pavimento e a cota do terreno exterior são grandes, ao ponto de se considerar um intervalo de 4,75 metros (entre a cota enterrada 1,25 metros e a cota enterrada 6 metros), em que a perda é igual qualquer que seja essa diferença de nível desde que se incorpore nesse intervalo. Tal situação e, para não agravar ou atenuar demasiado o valor da perda térmica (considere-se nos extremos deste intervalo), sujeitou a que este intervalo seja representado por um valor intermédio. Ora, da forma que este raciocínio foi conduzido, percebe-se então que certos pavimentos beneficiarão com esta simplificação e outros serão prejudicados, dependendo apenas da cota a que estão situados. Nos casos específicos e, como as cotas a que os pavimentos se encontram estão perto do extremo do intervalo que beneficia com a simplificação, as diferenças de valores são notórias face ao regulamento espanhol que considera intervalos de cotas mais pequenos ou então ao regulamento francês e à norma ISO 13370 cujo cálculo é efectuado em função do valor exacto da diferença de níveis.

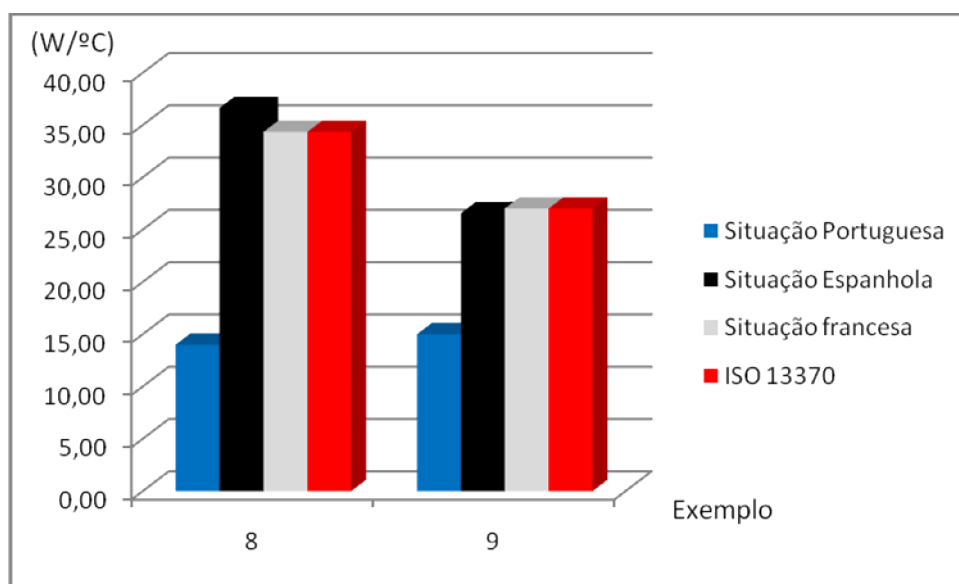


Fig.29 – Perdas térmicas pelo pavimento não isolado nos Edifícios Esquemáticos 8 e 9

Para uma análise das paredes enterradas pode-se consultar a Fig.30 que, à semelhança da Fig.29 para dos pavimentos enterrados não isolados, explicita o valor das perdas térmicas através destas e resultantes da aplicação dos vários regulamentos e da norma em estudo para os Edifícios Esquemáticos 6, 7, 8 e 9. Torna-se perceptível que para estes elementos verticais, todos os métodos de cálculo originam valores para as perdas térmicas que não são muito díspares entre si. As diferenças são justificadas pelos arredondamentos e aproximações inerentes às simplificações efectuadas. Neste caso é muito mais simples aproximar a perda térmica plana a uma linear pois o RCCTE contém uma tabela para quantificação deste tipo de perdas que se encontra estratificada por intervalos de diferenças de nível entre a cota do terreno e a cota superior do pavimento. O valor da perda térmica média para o

intervalo de cotas em questão é obtido directamente e corresponde ao produto entre o coeficiente de transmissão térmica plana médio e a área por unidade de comprimento, ou seja, o valor da altura de parede enterrada.

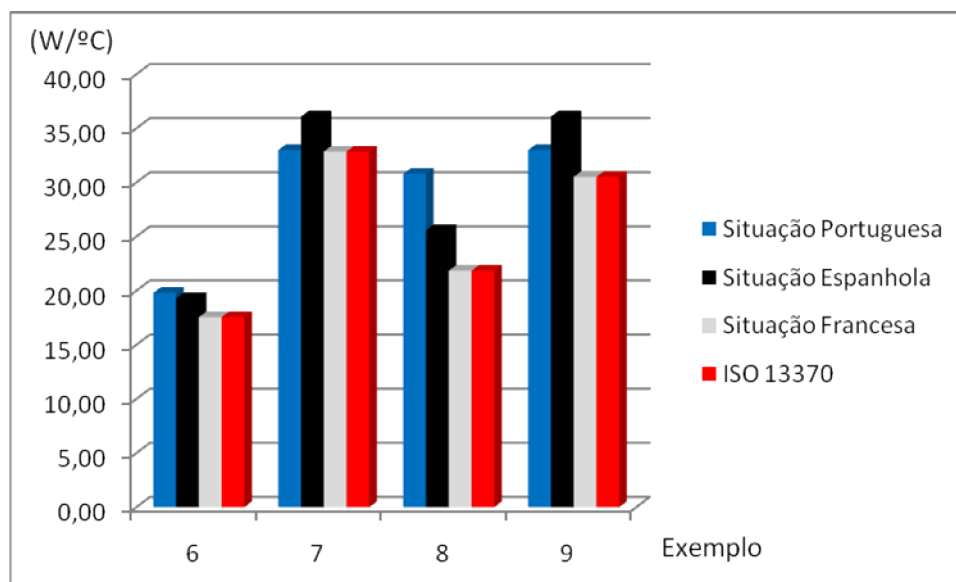


Fig.30 – Perdas térmicas pelas paredes enterradas nos Edifícios Esquemáticos 6, 7, 8 e 9

3.5.2. EDIFÍCIOS REAIS

Depois de entendidas quais as variações de resultados de acordo com a aplicação de cada um dos regulamentos em estudo e da norma 13370 a exemplos idealizados para o efeito, torna-se necessário perceber se na prática, ou seja, na realidade, essa mesma diferença de aplicação dos métodos se repercute no desempenho térmico global do edifício.

Para o efeito, foram considerados três habitações unifamiliares, todas situadas no distrito do Porto e que contêm elementos em contacto com o terreno. Foi ainda procurada uma diversidade de situações para análise, o que foi conseguido uma vez que se conseguiram analisar pavimentos isolados em contacto com o terreno, apoiados ao nível deste ou a cota inferior e paredes enterradas.

O esquema de análise será idêntico ao adoptado para os Edifícios Práticos (ponto 3.5.1.2.), percebendo-se deste modo e pormenorizadamente como se obtêm os valores finais das perdas térmicas para cada um dos edifícios.

Para o cálculo térmico de todo o edifício foi utilizada a folha de cálculo para verificação do RCCTE (DL 80/2006) disponibilizada gratuitamente pela FEUP e da autoria do Prof. Vasco Freitas e da Prof^a. Helena Corvacho.

No sentido de adaptar esta folha de cálculo disponibilizada à determinação das perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno e quando estas são contabilizadas utilizando o coeficiente de transmissão térmica plano, foram introduzidas pequenas alterações nos quadros existentes na folha relativamente a este tipo de cálculo. Estas alterações foram apenas a nível da nomenclatura. O Quadro 15 retrata a situação original e o Quadro 16 a situação adaptada.

Quadro 15 – Determinação das perdas por elementos em contacto com o terreno na folha FCIV.1a (original)

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m. $^{\circ}$ C)	$\psi \cdot B$ (W/ $^{\circ}$ C)
---	0,0	0,0	00,00
	TOTAL		00,00

Quadro 16 – Determinação das perdas por elementos em contacto com o terreno na folha FCIV.1a (adaptada)

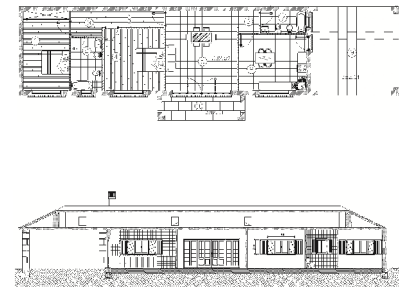
Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m 2)	U (W/m 2 . $^{\circ}$ C)	U.A (W/ $^{\circ}$ C)
---	0,0	0,0	00,00
	TOTAL		00,00

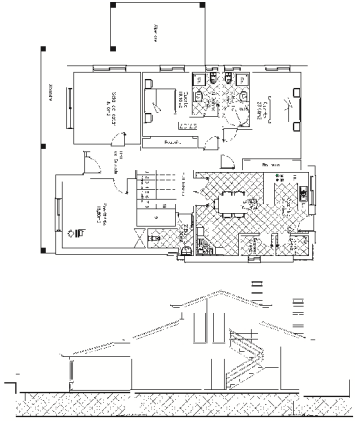
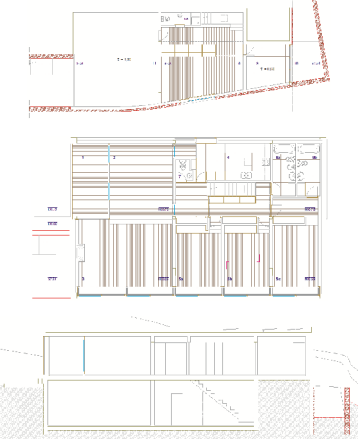
Os resultados dos cálculos podem ser consultados no entre o Anexo A.3 e o Anexo A.19. A forma como se irão determinar as perdas térmicas, apenas se reflecte no valor das necessidades anuais de aquecimento do edifício (N_{ic}), sendo que apenas serão expostos os resultados dos cálculos necessários para verificação regulamentar do valor de N_{ic} . Para o cálculo segundo o RCCTE, serão expostas todas as fichas de verificação da conformidade até obtenção do valor de N_{ic} (ficha FCIV.1a até ficha FCIV.2). Para as restantes aplicações regulamentares ou normativas, apenas as fichas FCIV.1a, FCIV.1b e FCIV.2 serão disponibilizadas. Este facto justifica-se porque nas restantes fichas não são abordados elementos em contacto com o terreno, sendo portanto os resultados idênticos entre si. Note-se ainda que a ficha relativa às *necessidades globais de energia primária*, importante para a classificação energética dos edifícios, não será disponibilizada uma vez que o valor das perdas pelos elementos em contacto com o terreno é tão insignificante para o seu cálculo. Este facto é devido ao baixo peso atribuído às necessidades anuais de aquecimento do edifício, onde o valor das perdas em estudo neste trabalho fica bastante diluído.

3.5.2.1. Caracterização da amostra

As amostras consideradas podem ser observadas em maior detalhe nos Anexos A.2., A.8. e A.14.

Quadro 17 – Descrição dos Edifícios Reais

Designação	Descrição	Esquema
Edifício Real 1 (B.1)	<ul style="list-style-type: none"> - Concelho de Penafiel (I2;V2) - Unifamiliar tipologia T2 - Pavimento térreo - Pavimento em contacto com o terreno ($z \geq 0$ m) - Pavimento isolado termicamente em toda a área - Classe energética B$^{-}$ 	

<p>Edifício Real 2 (B.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Concelho de Penafiel (I2;V2) - Unifamiliar tipologia T3 - Pavimento térreo + andar recuado - Pavimento em contacto com o terreno ($z \geq 0$ m) - Pavimento isolado termicamente em toda a área - Classe energética B⁻ 	
<p>Edifício Real 3 (B.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Concelho de Porto (I2;V1) - Unifamiliar tipologia T3 - Dois pisos - Pavimento em contacto com o terreno ($z \geq 0$ m) - Pavimento em contacto com o terreno ($z < 0$ m) - Paredes em contacto com o terreno - Pavimento isolado termicamente em toda a área - Classe energética A 	

3.5.2.2. Cálculo das perdas de calor pelos elementos em contacto com o terreno - Edifícios reais

Tal como já explicado, a metodologia com o cálculo é apresentado é idêntica à utilizada para os Edifícios Esquemáticos e será sequencial por Exemplo e por método de cálculo.

Não são conhecidas as propriedades do solo em qualquer dos três Edifícios Reais.

O Anexo A.26 detalha todo o processo de cálculo efectuado e relativo às perdas pelos elementos em contacto com o terreno para os edifícios reais.

No Quadro 18 são sintetizados os resultados obtidos para este cálculo.

Quadro 18 – Perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno para os Edifícios Esquemáticos

Exemplo	Regulamento Português	Regulamento Espanhol	Regulamento Francês	ISO 13370
	$L_{pe} (W/^{\circ}C)$	$U_{Tm} (W/^{\circ}C)$	$H_g (W/^{\circ}C)$	$H_g (W/^{\circ}C)$
B.1	58,56	62,69	43,79	43,79
B.2	98,46	81,04	56,53	56,53
B.3	67,65	58,92	39,41	39,29

3.5.2.3. Análise dos resultados obtidos - Edifícios Reais

À semelhança da análise feita para os Edifícios Esquemáticos, será também efectuada uma análise idêntica ainda que menos exaustiva. O objectivo desta análise é confirmar que os pressupostos e justificações anteriores se mantêm para estes exemplos e perceber a forma como poderá ser alterado o valor das necessidades anuais de aquecimento dependendo do método que é utilizado.

Para uma melhor compreensão e sobreposição dos resultados obtidos, pode-se observar a Fig.31. Tal como nos Edifícios Esquemáticos, observa-se que o regulamento francês e a norma ISO 13370 são coincidentes nestes valores. A situação é facilmente explicada uma vez que devido às características de cada um dos edifícios, para uma análise térmica baseada no regulamento francês, foi necessário recorrer às fórmulas que este propõe e que são idênticas às implementadas pela norma em estudo. Apenas no edifício do Edifício Real 3 foi possível utilizar umas das tabelas simplificadas do regulamento francês e, mesmo assim, apenas para os pavimentos assentes no terreno e não enterrados.

Por observação da Fig.32 compreende-se qual a real diferença nos resultados obtidos, tendo por base os propostos pela aplicação da norma ISO 13370. Como já anteriormente acontecia, para o caso dos pavimentos assentes no terreno mas não enterrados (caso dos edifícios dos Edifícios Reais 1 e 2), os regulamentos português e espanhol são os que mais penalizam essas perdas. A justificação é a mesma que já foi dada, ou seja para estes pavimentos apenas se considera a existência de isolamento térmico perimetral quando, na verdade, estes são isolados em toda a sua área.

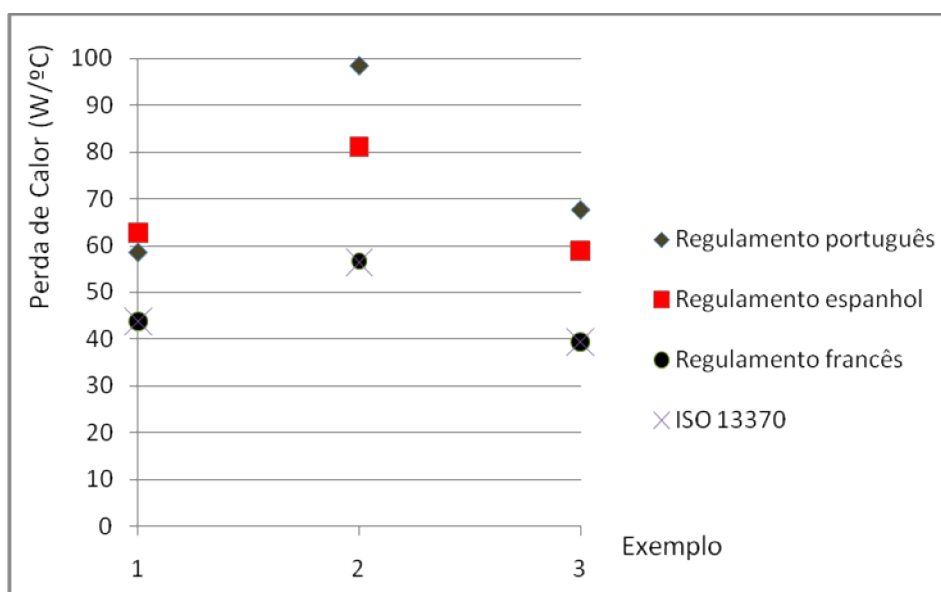


Fig.31 – Perdas térmicas totais para a estação de aquecimento nos Edifícios Reais

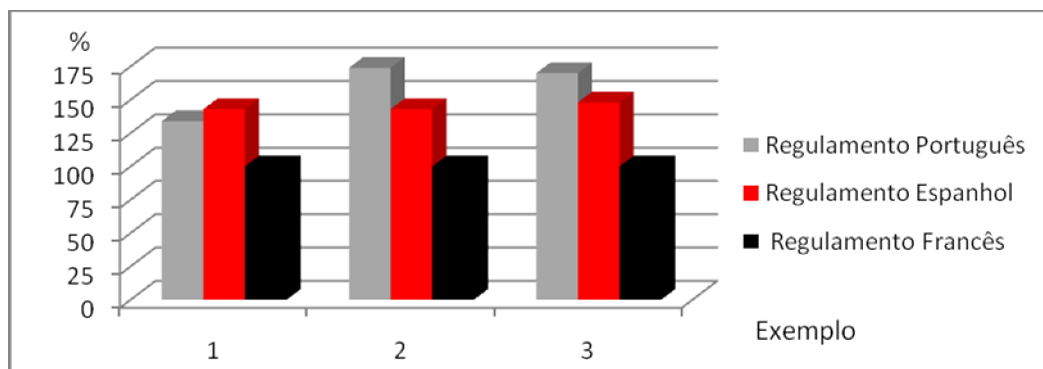


Fig.32 – Variação entre os resultados da norma ISO 13370 e os dos restantes regulamentos nos Edifícios Reais

No Edifício Real 2, os valores resultantes da aplicação do regulamento português são superiores aos resultantes da aplicação da norma. Tal facto acontece porque em Portugal é considerada a cota do pavimento quando este está elevado relativamente ao nível do terreno, situação esta que agrava as perdas térmicas. Nos restantes regulamentos e norma, as perdas são idênticas desde que o pavimento não esteja enterrado mais do que 0,50 metros relativamente à superfície do terreno.

No edifício do Edifício Real 3, as perdas são também elevadas face às da norma. A justificação é a mesma que foi dada para os restantes exemplos e prende-se com o facto de o pavimento ser considerado apenas isolado perimetralmente quando não o é na realidade.

Passando agora a uma análise das fichas de verificação da conformidade do RCCTE, observa-se que são relevantes as diferenças encontradas conforme o método de cálculo utilizado.

Para uma comparação exacta destas fichas e visto que elas apenas estão adaptadas para a regulamentação portuguesa, para os restantes regulamentos foi substituído nos campos destinados às perdas pelos elementos em contacto com o terreno, o comprimento pela área, a perda térmica linear pela perda térmica plana e o produto da perda térmica linear com o comprimento pelo produto da perda térmica plana com a área. Foi ainda acrescentado novo campo para as perdas associadas à envolvente interior, quando o compartimento contacta com espaços não úteis. Este campo é semelhante ao adaptado para as perdas pela envolvente exterior, sendo apenas acrescentado no produto o valor do respectivo τ .

Os valores são os já determinados nos cálculos do ponto 3.5.2.2. sendo apenas necessária a verificação da razão entre as necessidades nominais de aquecimento e as necessidades nominais de aquecimento máximas.

Edifício Real 1

Por observação da ficha FCIV.2 (ver Anexo A.3), nota-se que a aplicação do regulamento português ao edifício do Edifício Real 1, o comportamento no Inverno é regulamentar, com um valor de (N_{ic}/N_i) igual a 98.65%, ou seja, mesmo no limite que o regulamento permite. Quando passamos para a mesma ficha mas depois de aplicado o regulamento espanhol (ver Anexo A.4), a situação é agravada, deixando mesmo de serem cumpridos os limites regulamentares. O valor de (N_{ic}/N_i) é então igual a 100.50%. Por aplicação do regulamento francês, consegue-se que os limites sejam novamente verificados e desta vez com uma maior margem. Na ficha correspondente (ver Anexo A.5), verifica-se que o valor de (N_{ic}/N_i) desce para os 92.05%, o que revela uma maior facilidade em conseguir que o

edifício verifique os limites impostos para a estação de Inverno. À semelhança da utilização do regulamento francês, também a utilização da norma ISO 13370 (ver Anexo A.6), nos fornece um valor de (N_{ic}/N_i) igual a 92.05%, tal como seria de esperar.

Edifício Real 2

Para este edifício, a verificação das necessidades nominais de aquecimento utilizando o regulamento português, ainda foi mais complicada do que no caso anterior. Na ficha FCIV.2 (ver Anexo A.9), observa-se que o valor de (N_{ic}/N_i) é igual a 99.98%, quase o máximo absoluto que o edifício poderá ter. Por aplicação do regulamento espanhol, a situação melhora (ver Anexo A.10), já que o valor de (N_{ic}/N_i) passa a ser de 95.25%. Pelas conclusões tiradas anteriormente e observando mais uma vez a Fig.32, facilmente se concluiria que era de esperar este melhoramento. O regulamento francês permite ainda que este valor decresça mais (ver Anexo A.11), chegando então aos 88.61%. Por aplicação da norma em estudo (ver Anexo A.12), o valor é igual ao obtido quando calculado utilizando o regulamento francês.

Edifício Real 3

Este é um edifício em que a verificação já foi efectuada com uma maior margem relativamente aos limites impostos mas mesmo assim não muita afastada destes, no caso da aplicação do regulamento português (ver Anexo A.15). O valor de (N_{ic}/N_i) é então de 97.67% para este caso.

Utilizando a regulamentação espanhola (ver Anexo A.16), a situação melhora bastante, baixando o valor de (N_{ic}/N_i) para os 89.80%. À semelhança do que aconteceu no Edifício Real 2, este reduzido valor face ao obtido com a aplicação do RCCTE já seria de esperar.

Quando se aplica o regulamento francês (ver Anexo A.17), o valor de (N_{ic}/N_i) baixa ainda mais, chegando aos 85.72%. Por aplicação da norma ISO 13370 (ver Anexo A.18), este valor decresce quase que insignificamente, ficando-se nos 85.68%.

3.5.3. VANTAGENS E INCONVENIENTES - SÍNTESE

Analizadas diversas situações de cálculo térmico pelos elementos em contacto com o terreno, já se está em condições de apurar quais as vantagens ou inconvenientes que cada um dos métodos regulamentares no fornece. A mão-de-obra necessária para efectuar estes cálculos está explícita nos pontos 3.5.1.2. e 3.5.2.2., conseguindo-se então apurar o impacto que cada metodologia provoca no projectista térmico.

Muito sinteticamente mas não perdendo a coerência, serão enumeradas todas as vantagens e inconvenientes associados à utilização dos regulamentos estudados bem como uma possível utilização da norma ISO 13370.

Regulamento Português

Vantagens:

- Enorme simplicidade na compreensão do problema uma vez que o casos possíveis são reduzidos;
- Simplicidade na medição dos elementos em contacto com o terreno;

- Tabelas simplificadas muito reduzidas, o que proporciona uma rápida consulta de valores;
- Dependência de poucas características dos elementos, facilitando bastante o cálculo;
- Aplicação directa dos valores no cálculo final das perdas térmicas.

Inconvenientes:

- Uniformização de situações relativamente distintas, fruto da enorme simplificação;
- Não consideração da resistência térmica de todas as camadas constituintes do pavimento;
- Aproximação dos casos em que o isolamento está presente em toda a área do pavimento aos casos em que este apenas existe perimetralmente;
- Agravamento dos valores dos resultados obtidos relativamente à norma ISO 13370
- Situação indesejável que aparenta a existência de uma descontinuidade de valores: ter um pavimento enterrado a 1,20 metros de profundidade relativamente ao terreno e com isolamento térmico provoca perdas lineares de 1,20 W/m.°C e, quando este está apenas 0,10 metros mais profundo (1,30 metros relativamente à superfície do terreno) e não é isolado, as perdas térmicas lineares baixam para 0,50 W/m.°C;

Regulamento Espanhol

Vantagens:

- Existência de tabelas simplificadas para todas as situações;
- Tabelas de consulta relativamente simples e rápida;
- Consideração da dimensão característica do edifício;
- Cálculo térmico com base nas áreas dos elementos em contacto com o terreno, o que origina um cálculo mais preciso.

Inconvenientes:

- Agravamento elevado do valor das perdas térmicas face aos outros dois regulamentos e à norma ISO 13370;
- Não consideração da resistência térmica de todas as camadas que constituem o pavimento;
- Aproximação dos casos em que o pavimento é totalmente isolado aos casos em que apenas o é perimetralmente;
- Processo de cálculo moroso devido a interpolações necessárias no seu decorrer;
- Valores mínimos da dimensão característica nas tabelas elevados, o que obriga a fazer extrapolações e, conseqüentemente correr o risco dos seus valores não serem os mais correctos, aumentando assim o erro;

Regulamento Francês

Vantagens:

- Grande aproximação dos resultados aos obtidos utilizando a norma ISO 13370;
- Consideração da resistência térmica de todos os elementos que constituem o pavimento;
- Consideração de toda a área de pavimento que está isolada;
- Estão previstas todas as situações, embora não simplificadas;
- Valor mínimo da dimensão característica do pavimento mais adequado à realidade portuguesa.

Inconvenientes:

- Utilização de fórmulas para paredes e pavimentos enterrados em detrimento de tabelas simplificadas;
- Conhecimento de um elevado número de parâmetros relativos aos elementos em contacto com o terreno para efectuar os cálculos;
- Processo de cálculo moroso quando a diversidade de elementos num mesmo edifício está presente.

ISO 13370

Vantagens:

- Quantificação normalizada das perdas térmicas;
- Adequação a qualquer situação de elemento em contacto com o terreno;
- Possibilidade de trabalhar com qualquer valor para a dimensão característica do pavimento;

Inconvenientes:

- Acessibilidade complicada para consulta;
- Conhecimento das características dos elementos em contacto com o terreno e do terreno.

4

PROPOSTA DE UM MODELO PARA A FUTURA REVISÃO DO RCCTE

4.1. SÍNTESE DE OBJECTIVOS

Sentidas as dificuldades em cumprir os requisitos mínimos para a estação de aquecimento quando se utiliza o actual método de cálculo proposto no Regulamento das Características do Comportamento Térmico (DL 80/2006), torna-se imperativo adoptar uma nova metodologia de cálculo que permita uma quantificação das perdas térmicas pelos elementos em estudo mais aproximada da realidade. Como referência de realidade, é utilizada a norma ISO 13370, cujos valores e expressões foram criteriosamente estudados por especialistas para que pudessem ser utilizados como referência normativa.

Pretende-se, para o caso português, que o método proposto seja o mais simples e abrangente possível mas que ao mesmo tempo não penalize os edifícios devido a uma simplicidade excessiva. O ideal será o recurso a situações tabeladas e que não se necessite ser conhecedor de um grande número de parâmetros relacionados com os elementos em análise.

Pela análise efectuada ao longo do Capítulo 3, nota-se que por vezes a simplificação implica mais cálculos, pelo que é importante tipificar as situações mais correntes.

Toda a metodologia de cálculo desenvolvida neste capítulo está apoiada na norma ISO 13370 e nas fórmulas nela propostas, por ser esta a norma de referência para o cálculo térmico dos elementos em contacto com o terreno.

4.2. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO ($z \geq 0,50$ m)

Para os pavimentos em contacto com o terreno, cuja superfície deste está, no máximo 0,50 metros acima da superfície do pavimento, foi primeiramente elaborado um estudo de sensibilidade que pudesse fornecer resultados para a variação de determinados parâmetros.

O objectivo será conseguir um quadro simplificativo que forneça valores para o coeficiente de transmissão térmica do pavimento em contacto com o terreno, para pavimentos não isolados ou então isolados em toda a sua área.

Por análise da norma ISO 13370 para este tipo de elementos (ver ponto 2.2.6.1.), percebe-se que não são importantes a resistência térmica de todas as camadas do pavimento (R_f), a espessura da parede adjacente ao pavimento (w), a condutibilidade térmica do terreno (λ) e a dimensão característica do pavimento (B').

Os parâmetros a fazer variar para testar a sua influência numa eventual simplificação foram todos pois entende-se que qualquer um deles poderá originar variações razoáveis no valor coeficiente de transmissão térmica.

Foram então elaborados alguns quadros em que se fez variar dentro de cada quadro o valor da condutibilidade térmica do terreno, o valor da resistência térmica do pavimento e o valor da dimensão característica do pavimento. Entre quadros, variará o valor da espessura da parede.

O valor da dimensão característica variará entre 3 e 20 metros. Estas dimensões consideram-se aceitáveis para a realidade da construção portuguesa.

Para o valor da espessura da parede, foi considerada a hipótese de estas poderem variar entre os 20 centímetros (possivelmente paredes simples) e os 50 (possivelmente paredes duplas e espessas). O incremento de variação foi de 5 centímetros.

Para os valores da condutibilidade térmica do terreno, foram utilizados os correspondentes a situações comuns tais como 1,5 W/(m.°C) para terrenos argilosos ou siltosos, o valor de 2,0 W/(m.°C) para terrenos em saibro ou areia (também valor recomendado pela norma ISO 13370 para quando é desconhecida a composição do terreno) e o valor de 3,5 W/(m.°C) que corresponderá a terrenos de rocha homogênea.

Um cálculo intrínseco para obtenção dos valores dos coeficientes de transmissão térmica é o da espessura equivalente do pavimento. Este é também apresentado nestes primeiros quadros que se elaboraram (ver Anexo A.20).

Obtidos os valores para o coeficiente de transmissão térmica (U) para este tipo de pavimento e para esta primeira série de quadros gerados, observa-se que muitos desses valores são comuns entre quadros, o que significa que talvez não haja assim uma grande variação de resultados conforme varia a espessura da parede. Para clarificar esta situação, foram assinalados a amarelo os valores que se repetem em todos os quadros.

Observando mais atentamente os quadros, percebe-se que entre os quadros correspondentes às espessuras de parede de 40, 35, 30 e 25 centímetros existem vários valores que se repetem entre si. Foram então marcados a vermelho esses valores. Pode-se então verificar que existem uma vasta gama de resultados comuns a pelo menos quatro quadros. Num olhar mais crítico, conclui-se que quanto maior for a espessura da parede, menor será a perda térmica pelo pavimento em contacto com o terreno. Neste sentido e numa tentativa ainda maior de avaliar a proximidade entre estes valores obtidos, foi verificada se a diferença entre os restantes valores ainda não assinalados nos quadros é inferior a 0.005 W/(m.°C), valor este que se entende ser muito baixo para dar origem a arredondamentos grosseiros. Esta diferença apenas foi avaliada para os quadros correspondentes às espessuras de parede de 40, 35, 30 e 25 centímetros, cuja semelhança entre eles tem sido mais relevante. Os valores que cumprem esta diferença são assinalados a cor azul. É então perceptível que quase todos os valores correspondentes às espessuras de parede de 40, 35 e 30 centímetros são semelhantes entre si.

Correspondendo a espessura de 40 centímetros a uma parede dupla, bastante comum na construção típica portuguesa, entende-se que será este o valor que poderá representar todos os outros, sendo que, a partir deste ponto apenas se trabalhará com esta espessura de parede.

Numa maior tentativa de simplificação do quadro obtido, foi avaliada se existia e qual a relação que os valores da dimensão característica imperava nos resultados obtidos.

Começando pelos valores menos comuns para a dimensão característica do pavimento nos edifícios tradicionais, ou seja, o maiores valores, percebe-se que embora a relação entre os valores de 10 metros e 20 metros não seja linear, caso esta seja aproximada a tal, o erro cometido não será muito pois como os valores devem ser arredondados a duas casas decimais, como está expresso na norma, acaba-se por não obter valores muito diferentes dos já obtidos quando se faz uma interpolação linear entre eles. No entanto e para atenuar esse pequeno erro, consideram-se três valores da dimensão característica tabelados para este intervalo: 10 metros, 15 metros e 20 metros.

A mesma verificação foi efectuada para valores menores. Uma gama de valores comuns para a dimensão característica do pavimento, como se pode observar no Capítulo 3, são os situados entre os 3 metros e os 6,5 metros, razão pela qual se tenta não suprimir estes valores do quadro para que não se cometam grandes erros de aproximação por interpolação linear. Nota-se, no entanto, que a variação entre os valores de 4 metros e 6 metros poderá ser aproximada a linear, não se cometendo grande erro, razão que levou a suprimir o valor de 5 metros do quadro. Entre 6 metros e 10 metros, também a interpolação linear se aproxima dos resultados já tabelados, sendo então suprimidos também os valores compreendidos entre este intervalo. Não se querendo simplificar mais o quadro, para evitar interpolações lineares afastadas da realidade, obtém-se o Quadro 19.

Quadro 19 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) pelo pavimento em contacto com o terreno ($z \leq 0,50m$) para o valor de $w = 0,40 m$

$w =$	$[\lambda = 1,5 W/(m \cdot ^\circ C)]$					$[\lambda = 2,0 W/(m \cdot ^\circ C)]$					$[\lambda = 3,5 W/(m \cdot ^\circ C)]$				
0,4	$R_f (m^2 \cdot ^\circ C)/W$					$R_f (m^2 \cdot ^\circ C)/W$					$R_f (m^2 \cdot ^\circ C)/W$				
B'	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
3	0,43	0,35	0,29	0,26	0,23	0,48	0,39	0,32	0,28	0,24	0,58	0,45	0,37	0,31	0,27
4	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,54	0,43	0,35	0,3	0,26
6	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,38	0,31	0,27	0,23	0,21	0,48	0,38	0,32	0,28	0,24
10	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,4	0,33	0,28	0,24	0,22
15	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,23	0,2	0,18	0,17	0,15	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19
20	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17

Uma próxima tentativa de simplificar o Quadro 19, passa pela tentativa de supressão de alguns valores para a resistência térmica do pavimento. Analisadas também as variações entre eles, conclui-se que as interpolações lineares entre $1 m^2 \cdot ^\circ C/W$ e $2 m^2 \cdot ^\circ C/W$ e entre $2 m^2 \cdot ^\circ C/W$ e $3 m^2 \cdot ^\circ C/W$ são possíveis sem que se cometam grandes erros de proximidade com os valores reais. Suprimem-se então as colunas relativas a $1,5 m^2 \cdot ^\circ C/W$ e $2,5 m^2 \cdot ^\circ C/W$. Por outro lado e querendo considerar também aqueles pavimentos menos isolados, foi introduzida uma nova coluna no quadro, correspondente a uma resistência térmica do pavimento de $0,50 m^2 \cdot ^\circ C/W$.

Como o objectivo é simplificar o processo de cálculo, sem prejudicar gravemente a análise térmica do edifício, entendeu-se que grande parte dos projectistas não saberão ao certo a constituição do solo onde está assente o edifício. Neste caso a norma ISO 13370 remete-nos para o uso do valor de $2,0 W/(m \cdot ^\circ C)$ para a condutibilidade térmica do terreno. Opta-se então por suprimir as colunas correspondentes aos outros valores, restando apenas a referente ao valor de $2,0 W/(m \cdot ^\circ C)$.

Obtém-se então o Quadro 20, com aspecto muito mais simples que os iniciais.

Quadro 20 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para pavimento em contacto com o terreno ($z \leq 0,50m$)

B'	R_f ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)			
	0,5	1	2	3
3	0,65	0,48	0,32	0,24
4	0,57	0,44	0,3	0,23
6	0,47	0,38	0,27	0,21
10	0,35	0,29	0,22	0,18
15	0,27	0,23	0,18	0,15
≥ 20	0,22	0,19	0,16	0,13

Pensando agora nos pavimentos que não são isolados e cuja resistência térmica poderá rondar os 0,20 a 0,30 $m^2 \cdot ^\circ C/W$, foi procurada uma forma de conseguir que este quadro servisse para aplicação nos mesmos. Para o efeito, elaborou-se o Quadro 21 mas, desta vez, apenas para os valores de 0.20, 0.30, 0.40 e 0.50 $m^2 \cdot ^\circ C/W$ para a resistência térmica do pavimento.

Quadro 21 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) pelo pavimento em contacto com o terreno ($z \leq 0,50m$) para os valores de $w = 0,40$ m e $\lambda = 2$ $W/(m \cdot ^\circ C)$ e $R_f = 0.20, 0.30, 0.40$ e 0.50 $m^2 \cdot ^\circ C/W$

w =	[λ = 2,0 W/(m.°C)]				U _{Rf(0,3)} / U _{Rf(0,5)}	1,15 x U _{Rf(0,5)}
0,4	R _f (m ² .°C)/W					
B'	0,2	0,3	0,4	0,5		
3	0,81	0,75	0,7	0,65	1,15	0,75
4	0,7	0,65	0,61	0,57	1,14	0,66
6	0,56	0,52	0,5	0,47	1,11	0,54
10	0,4	0,38	0,37	0,35	1,09	0,4
15	0,3	0,29	0,28	0,27	1,07	0,31
20	0,25	0,24	0,23	0,22	1,09	0,25

Este novo quadro, de aspecto um pouco diferente dos anteriores, procura avaliar se poderá ser aplicado algum coeficiente ao valor obtido para uma resistência térmica do pavimento de 0,50 $m^2 \cdot ^\circ C/W$, de modo a que se obtenha directamente um valor para o coeficiente de transmissão térmica do pavimento quando a resistência deste é inferior à tabelada (0,50 $m^2 \cdot ^\circ C/W$). Surge então uma coluna ($U_{Rf(0,3)} / U_{Rf(0,5)}$), cujo objectivo é perceber qual a relação entre os valores correspondentes à resistência térmica do pavimento igual a 0,30 $m^2 \cdot ^\circ C$ e 0,50 $m^2 \cdot ^\circ C$. Esta varia um pouco mas não muito, sendo que os primeiros valores são superiores aos segundos entre 9% a 15%. Por simplificação, considerou-se um agravamento de 15% nos valores para a resistência térmica do pavimento de 0,50 $m^2 \cdot ^\circ C$ caso na realidade esta fosse inferior a este valor. A coluna do mesmo quadro com o título ($1.15 \times U_{Rf(0,5)}$)

fornece os valores para esse agravamento de 15%. Por comparação destes com os restantes, entende-se que é muito boa a aproximação efectuada.

Fica então o Quadro 20 como proposta para este tipo de pavimentos cujo esquema poderá ser observado na Fig.33, considerando que para pavimentos com uma resistência térmica inferior a $0,50 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, o valor do seu coeficiente de transmissão térmica é o correspondente à coluna de $0,50 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, agravado em 15%.

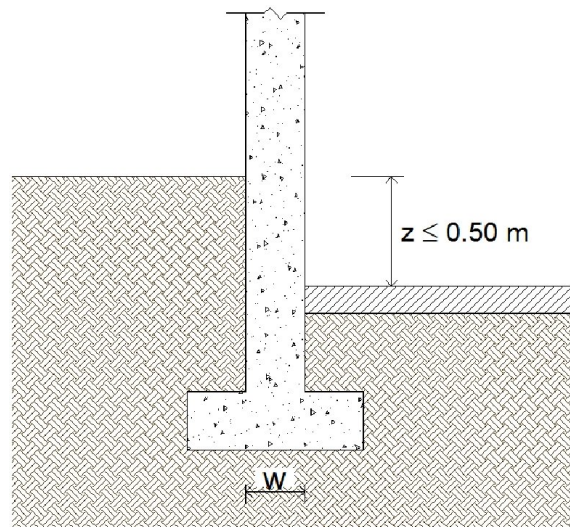


Fig.33 – Esquema pavimentos em contacto com o terreno ($z \leq 0,50 \text{ m}$)

4.3. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO ($z < 0,50 \text{ m}$)

Para os pavimentos enterrados em contacto com o terreno, cuja superfície deste está mais do que 0,50 metros acima da superfície do pavimento e, à semelhança do efectuado para os pavimentos não enterrados, será feito um estudo de sensibilidade para perceber quais os parâmetros que podem vir a ser simplificados para a elaboração de um quadro.

A análise é efectuada com base na norma ISO 13370, tal como explicado no ponto 2.2.6.3. deste trabalho. O parâmetros a considerar neste cálculo são a dimensão característica do pavimento (B'), a condutibilidade térmica do terreno (λ), a diferença de cotas entre a superfície do terreno e a do pavimento (z) e espessura equivalente do pavimento (d_t), o que implica o conhecimento associado da espessura da parede adjacente (w), da resistência térmica de todas as camadas do pavimento (R_f), da resistência térmica superficial interior (R_{si}) e da resistência térmica superficial exterior (R_{se}).

Numa primeira análise de sensibilidade para este caso, são construídos quadros em que varia essencialmente o valor da variável (z). Esta variação é dividida por intervalos.

O primeiro corresponde aos valores entre 0,50 metros e 1,0 metro. Dentro deste intervalo considera-se o valor intercalar de 0,75 metros.

O segundo intervalo compreende-se entre os valores de 1,0 metro e 2,0 metros e, dentro deste, um intercalar de 1,50 metros.

O terceiro intervalo situa-se entre os valores de 2,0 metros e 3,0 metros e com o valor intercalar de 2,5 metros.

O último intervalo será para valores superiores a 3,0 metros, considerando-se ainda dentro deste quadro os valores de 4,0 metros e 5,0 metros.

Para todo o cálculo e procurando uma analogia com o cálculo de pavimentos em contacto com o terreno com $z \leq 0,50$ m, todos os quadros são gerados para um valor da condutibilidade térmica do terreno de $2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$ e para uma espessura de parede de 40 centímetros. Os valores das dimensões características presentes no quadro são também aqueles que anteriormente se consideraram no quadro final.

No Anexo A.21 pode-se observar os quadros obtidos para este estudo de sensibilidade.

A primeira tentativa de simplificação dos quadros obtidos, passou por gerar um novo quadro para cada um dos anteriormente obtidos e que os substituirá. Esta simplificação foi obtida considerando que os valores do quadro representativo de cada intervalo são obtidos através da média simples das três classes de valores provenientes de cada um dos primeiros quadros, ou seja dos extremos do intervalo e do valor intermédio. Estes novos quadros poderão ser também observados no Anexo A.21, a par de cada um dos seus correspondentes.

Numa tentativa de ainda simplificar mais a análise deste tipo de pavimentos, verifica-se que os resultados compreendidos entre as resistências térmicas do pavimentos $1,0 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ e $2,0 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ e entre $2,0 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e $3,0 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}$ podem ser obtidos por interpolação linear sem que daí advinha um erro grosseiro de aproximação com os resultados reais.

É então obtido o Quadro 22, cujo conjunto de valores já é mais agradável e ao mesmo tempo relativamente abrangente.

Por analogia ao Quadro 20, é interessante que o Quadro 22 sirva também para ser aplicado a pavimentos sem isolamento térmico, ou seja, pavimentos cuja resistência térmica é inferior a $0,50 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$. À semelhança do Quadro 21, foram também elaborados outros Quadros (23 a 26) onde se pretende avaliar se será possível aplicar algum coeficiente aos valores para a resistência térmica do pavimento de $0,50 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}$ para representar, de uma forma simples, todos os pavimentos cuja resistência térmica é inferior a este valor.

Quadro 22 – Coeficientes de transmissão térmica $U_e \text{ (W/m}^2\cdot^\circ\text{C)}$ pelo pavimento em contacto com o terreno ($z > 0,50\text{m}$)

	$0,5 < z \leq 1,0$				$1,0 < z \leq 2,0$				$2,0 < z \leq 3,0$				$z \geq 3$			
	$R_f \text{ (m}^2\cdot^\circ\text{C)/W}$				$R_f \text{ (m}^2\cdot^\circ\text{C)/W}$				$R_f \text{ (m}^2\cdot^\circ\text{C)/W}$				$R_f \text{ (m}^2\cdot^\circ\text{C)/W}$			
B'	0,5	1	2	3	0,5	1	2	3	0,5	1	2	3	0,5	1	2	3
3	0,57	0,44	0,3	0,23	0,51	0,41	0,29	0,22	0,45	0,37	0,27	0,21	0,39	0,32	0,24	0,2
4	0,52	0,41	0,28	0,22	0,47	0,37	0,27	0,21	0,42	0,34	0,25	0,2	0,36	0,3	0,23	0,19
6	0,43	0,35	0,25	0,2	0,4	0,33	0,24	0,19	0,36	0,3	0,23	0,18	0,31	0,27	0,21	0,17
10	0,32	0,28	0,21	0,17	0,3	0,26	0,2	0,17	0,28	0,24	0,19	0,16	0,25	0,22	0,18	0,15
15	0,25	0,22	0,18	0,15	0,24	0,21	0,17	0,14	0,22	0,2	0,16	0,14	0,2	0,18	0,15	0,13
≥ 20	0,21	0,18	0,15	0,13	0,2	0,18	0,15	0,13	0,19	0,17	0,14	0,12	0,17	0,16	0,13	0,12

Quadro 23 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) pelo pavimento em contacto com o terreno ($0,5 > z \leq 1,0$ m) para os valores de $w=0,40$ m e $\lambda = 2$ $W/(m \cdot ^\circ C)$ e $R_f = 0,20, 0,30, 0,40$ e $0,50$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$

0,5 < z ≤ 1,0						
B'	Rf ($m^2 \cdot ^\circ C$)/W				$U_{Rf(0,3)} / U_{Rf(0,5)}$	$1,10 \times U_{Rf(0,5)}$
	0,2	0,3	0,4	0,5		
3	0,70	0,65	0,61	0,57	1,14	0,63
4	0,62	0,58	0,55	0,52	1,12	0,57
6	0,50	0,47	0,45	0,43	1,09	0,47
10	0,37	0,35	0,34	0,32	1,09	0,35
15	0,28	0,27	0,26	0,25	1,08	0,28
20	0,23	0,22	0,21	0,21	1,05	0,23

Quadro 24 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) pelo pavimento em contacto com o terreno ($1,0 < z \leq 2,0$ m) para os valores de $w=0,40$ m e $\lambda = 2$ $W/(m \cdot ^\circ C)$ e $R_f = 0,20, 0,30, 0,40$ e $0,50$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$

1,0 < z ≤ 2,0						
B'	Rf ($m^2 \cdot ^\circ C$)/W				$U_{Rf(0,3)} / U_{Rf(0,5)}$	$1,10 \times U_{Rf(0,5)}$
	0,2	0,3	0,4	0,5		
3	0,62	0,58	0,55	0,51	1,14	0,56
4	0,55	0,52	0,49	0,47	1,11	0,52
6	0,45	0,43	0,41	0,40	1,08	0,44
10	0,34	0,33	0,31	0,30	1,10	0,33
15	0,26	0,25	0,25	0,24	1,04	0,26
20	0,22	0,21	0,20	0,20	1,05	0,22

Quadro 25 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) pelo pavimento em contacto com o terreno ($2,0 < z \leq 3,0$ m) para os valores de $w=0,40$ m e $\lambda = 2$ $W/(m \cdot ^\circ C)$ e $R_f = 0,20, 0,30, 0,40$ e $0,50$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$

2,0 < z ≤ 3,0						
B'	Rf ($m^2 \cdot ^\circ C$)/W				$U_{Rf(0,3)} / U_{Rf(0,5)}$	$1,10 \times U_{Rf(0,5)}$
	0,2	0,3	0,4	0,5		
3	0,53	0,50	0,48	0,45	1,11	0,50
4	0,48	0,46	0,44	0,42	1,10	0,46
6	0,40	0,39	0,37	0,36	1,08	0,40
10	0,31	0,30	0,29	0,28	1,07	0,31
15	0,24	0,24	0,23	0,22	1,09	0,24
20	0,20	0,20	0,19	0,19	1,05	0,21

Quadro 26 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) pelo pavimento em contacto com o terreno ($z > 3,0$ m) para os valores de $w=0,40$ m e $\lambda = 2$ $W/(m \cdot ^\circ C)$ e $R_f = 0,20, 0,30, 0,40$ e $0,50$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$

B'	z > 3				U _{Rf(0,3)} / U _{Rf(0,5)}	1,10 x U _{Rf(0,5)}
	Rf (m ² .°C)/W					
	0,2	0,3	0,4	0,5		
3	0,44	0,42	0,40	0,39	1,08	0,43
4	0,40	0,39	0,37	0,36	1,08	0,40
6	0,35	0,34	0,33	0,31	1,10	0,34
10	0,28	0,27	0,26	0,25	1,08	0,28
15	0,22	0,21	0,21	0,20	1,05	0,22
20	0,18	0,18	0,18	0,17	1,06	0,19

Tal como na construção do Quadro 61, testa-se qual será o valor da relação entre os valores para a resistência térmica do pavimento de $0,30$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ e $0,50$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$, adicionando-se a coluna com o nome ($U_{Rf(0,3)} / U_{Rf(0,5)}$) que exprime esses resultados. Por análise dos Quadros 23 a 26, conclui-se que os valores correspondentes à resistência térmica de $0,30$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ são superiores aos outros entre 5% e 14%, sendo dominantes os valores próximos de 10%. Entende-se portanto que agravando os valores para a resistência térmica do pavimento de $0,50$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ em 10%, consegue-se um valor aceitável para o coeficiente de transmissão térmica destes pavimentos, o que pode ser observado na coluna com o nome ($1,10 \times U_{Rf(0,5)}$) e que podem ser comparados com os restantes dos quadros.

Pode-se então considerar que o Quadro 22 já abrange os pavimentos isolados e não isolados, servindo então de proposta para os a quantificação das perdas térmicas pelos pavimentos em contacto com o terreno com $z > 0,50$ m. Para pavimentos cuja resistência térmica é menor que $0,50$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$, deve ser considerado o coeficiente de transmissão térmica para este valor, com um agravamento de 10%. Para completar este quadro, sugere-se a observação da Fig.34 que esquematiza as condições em que o pavimento se terá que encontrar.

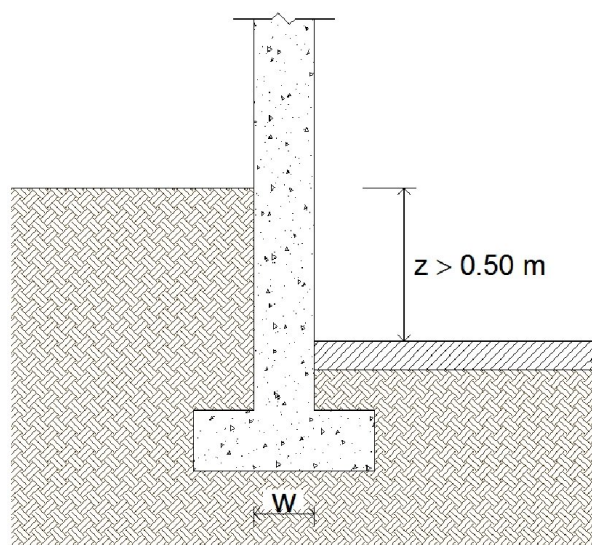


Fig.34 – Esquema pavimentos em contacto com o terreno ($z > 0,50$ m)

4.4. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO E COM ISOLAMENTO TÉRMICO PERIMETRAL HORIZONTAL

Uma outra possibilidade de configuração do pavimento é este possuir isolamento perimetral, tal como já está previsto no actual RCCTE. No entanto apenas está prevista a consideração da contribuição deste isolamento e desprezada a de um eventual isolamento em toda a área do pavimento ou, até, mesmo só do próprio pavimento quando este não é isolado. Um outro aspecto a considerar é o facto do isolamento perimetral poder estar disposto na horizontal ou na vertical, o que, como pode ser analisado no ponto 2.2.6.2., originará contribuições distintas para atenuar as perdas térmicas pelo pavimento.

A proposta, neste caso para quando existe isolamento térmico perimetral horizontal, considera tanto a contribuição deste isolamento como da resistência térmica de todas as camadas da restante área de pavimento.

Tal como para os casos anteriores, é efectuado um estudo de sensibilidade para que se possa simplificar o mais possível o método de cálculo das perdas térmicas sem o prejuízo de grandes erros.

Observando a norma ISO 13370, percebe-se que a contribuição oferecida pelo isolamento térmico perimetral varia em função da condutibilidade térmica do terreno (λ), da largura do isolamento (D), da espessura equivalente do pavimento na zona em que não existe o isolamento térmico perimetral (d_i), e da espessura equivalente resultante da aplicação do isolamento perimetral (d'). Esta, por sua vez, depende ainda da resistência térmica do isolamento perimetral (R_n) e da sua espessura (d_n).

Para iniciar o estudo de sensibilidade, mais uma vez se consideraram quais seriam os parâmetros anteriores que não vão variar. Na sequência do cálculo para as perdas térmicas pelos pavimentos em contacto com o terreno, caso estes estejam enterrados ou não, foi considerada uma espessura de parede adjacente ao pavimento de 40 centímetros. Julga-se pertinente que esta espessura seja mantida para que as condições impostas para o cálculo simplificado sejam idênticas entre si. O outro parâmetro que se manteve constante logo desde início foi a condutibilidade térmica do terreno, com o valor de 2,0 W/(m.°C), por motivos já anteriormente explicados.

Uma outra observação importante a fazer é que se considera que à partida o isolamento aplicado perimetralmente será o mesmo que é aplicado no restante pavimento, caso este exista. Poderá ser questionável esta consideração mas, uma vez que esta apenas influencia o efeito da redução de perdas térmicas por acção do isolamento perimetral e, visto se tratar de simplificações, julga-se oportuna a consideração.

O primeiro parâmetro para o qual foi testada a sua influência no restante cálculo foi a espessura do isolamento perimetral. Foram gerados quadros para diferentes espessuras atribuídas e que variam entre os 3 centímetros e os 10 centímetros, por incrementos de 1 centímetro.

Os quadros obtidos estão presentes no Anexo A.23. Por observação dos resultados neles contidos, e à semelhança de análises efectuadas também em anteriores simulações, percebe-se que existem alguns valores que se repetem ao longo de todas elas. Numa tentativa de entender qual a dimensão da variação de resultados entre a situação mais gravosa, ou seja, com menor espessura de isolamento e a situação oposta, ou seja, com maior espessura de isolamento, é construído um novo quadro (ver Anexo A.23) que nos mostra precisamente o valor dessas diferenças entre quadros. A cor de laranja estão assinaladas as diferenças até 0,01 W/m².°C. Note-se que uma diferença com este valor, num edifício com 150 m², corresponde a um erro de 1,5 W/°C, ou seja, uma diferença mínima quando estamos a trabalhar com métodos simplificados. Por esta razão foram ainda criados dois novos patamares de diferenças: a azul o que corresponde a valores situados entre 0,01 W/m².°C e 0,02 W/m².°C e a verde

para os valores situados entre $0,02 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $0,05 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Para estes dois intervalos, o erro máximo associado considerando o mesmo edifício de 150 m^2 , é de $3,0 \text{ W/}^\circ\text{C}$ e $7,5 \text{ W/}^\circ\text{C}$.

Ao tentar avaliar novamente estas diferenças de valores mas para espessuras de isolamento mais correntes, ou seja, entre os quadros relativos às espessuras de 3 centímetros e 6 centímetros, obtém-se um outro quadro (ver Anexo A.23) que, seguindo o mesmo raciocínio e cores do quadro obtido anteriormente, nos informa acerca destas novas diferenças.

Por observação destes dois últimos quadros obtidos constata-se que os erros originados por uma possível uniformização dos quadros num só, serão relativamente baixos, já que as maiores diferenças ocorrem para uma resistência térmica do pavimento entre $0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ e $1,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ e para baixos valores da dimensão característica do pavimento. No entanto, e pensando um pouco nos casos práticos correntes, um edifício típico português, tem uma dimensão característica do pavimento não muito alta e o seu pavimento normalmente ou não está isolado ou se o está, não contém uma grande espessura de isolamento. Nestas condições, os valores que poderíamos obter do quadro são precisamente aqueles onde ocorre o maior erro caso se resumam todos os quadros a um só. Assumindo uma atitude conservativa neste aspecto, é oportuno considerar para o cálculo os coeficientes de transmissão térmica obtidos para o primeiro quadro, cuja espessura de isolamento perimetral é de 3 centímetros que, aliás, é uma espessura que muitas vezes é aplicada no pavimento. Note-se ainda que uma das opções tomadas anteriormente para parte do cálculo é que o pavimento estará isolado em toda a sua área com a mesma espessura de isolamento que está no seu perímetro. Pode acontecer, no entanto, que o pavimento não esteja isolado, o que provocaria um aumento no valor dos coeficientes no quadro. Este aspecto contribui para justificar a atitude conservativa tomada anteriormente.

Tendo agora como base o quadro adoptado, surge uma nova tentativa de simplificação, procurando reduzir o número de valores para a dimensão característica e da resistência térmica do pavimento.

Após a simulação de inúmeras interpolações, conclui-se que como aconteceu em casos anteriores, é possível manter apenas dos valores de 3, 4, 6, 10, 15 e 20, em metros para a dimensão característica do pavimento sem que se verifiquem grandes desvios nas interpolações lineares que se façam. Analisando agora a resistência térmica do pavimento, foi possível excluir todas as colunas referentes a $1,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ e $2,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$.

Surge então o Quadro 27 que poderá ser utilizado para obter o coeficiente de transmissão térmica para pavimentos com isolamento térmico perimetral, considerando já as perdas em toda a área de pavimento.

Quadro 27 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para pavimentos em contacto com o terreno e com isolamento térmico perimetral horizontal

	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$]					D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$]					D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$]				
	R_f ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$)					R_f ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$)					R_f ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$)				
B'	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3
3	0,86	0,6	0,46	0,29	0,21	0,79	0,57	0,44	0,29	0,2	0,75	0,55	0,42	0,28	0,2
4	0,74	0,54	0,42	0,29	0,21	0,69	0,52	0,41	0,28	0,21	0,66	0,5	0,4	0,28	0,2
6	0,59	0,45	0,36	0,26	0,2	0,55	0,43	0,36	0,26	0,2	0,53	0,42	0,35	0,26	0,2
10	0,42	0,34	0,28	0,22	0,18	0,4	0,33	0,28	0,22	0,18	0,38	0,32	0,27	0,21	0,18
15	0,32	0,26	0,23	0,18	0,15	0,3	0,25	0,22	0,18	0,15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15
20	0,26	0,21	0,19	0,15	0,13	0,24	0,21	0,19	0,15	0,13	0,24	0,21	0,18	0,15	0,13

A Fig.35 ilustra esta situação, assinalando alguns dos parâmetros envolvidos.

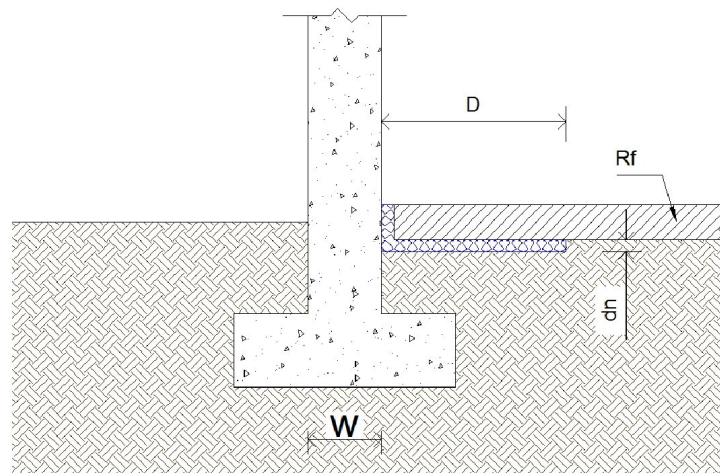


Fig.35 – Esquema paredes em contacto com o terreno e com isolamento térmico perimetral horizontal

4.5. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO E COM ISOLAMENTO TÉRMICO PERIMETRAL VERTICAL

Para a outra variante do isolamento térmico perimetral, considera-se que este se encontra numa posição vertical, encostado à parede de fundação do edifício.

Como é possível observar no Capítulo 2, a expressão utilizada para efectuar o cálculo das perdas térmicas quando se considera que o isolamento perimetral está na posição vertical, é muito semelhante à que se utiliza para efectuar o cálculo quando este se encontra na posição horizontal.

Os parâmetros que se consideram são os mesmos, ocorrendo apenas uma pequena variação na designação de um. Esta designação é relativa à largura do isolamento (D) que passa a ser profundidade do isolamento (D). No entanto o conceito é o mesmo.

Identicamente ao ponto 4.7., também neste caso é considerada a contribuição do isolamento perimetral e de toda a área de pavimento.

Inicialmente são impostas as condições de que todo o cálculo será efectuado considerando a espessura de 40 centímetros para a parede adjacente ao pavimento e que a condutibilidade térmica do terreno é igualmente constante e tem o valor de $2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$. Os motivos de tais imposições são os mesmos que têm vindo a ser invocados ao longo deste capítulo.

Para a análise de sensibilidade, o raciocínio foi o mesmo considerado para o caso em que o isolamento perimetral está disposto na horizontal. No entanto parte-se de um ponto diferente uma vez que a variação introduzida na expressão é uma constante, o que não alterará significativamente forma como os valores variam dentro do quadro de resultados bem como a relação entre eles.

Consideram-se então para começar, apenas os valores de 3, 4, 6, 10, 15 e 20 metros para a dimensão característica do pavimento. São também apenas considerados os valores de 0, 0.5, 1, 2 e $3 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para as resistências térmicas do pavimento.

Surtem então os quadros presentes no Anexo A.24 que mostram os resultados de uma primeira simulação para diferentes espessuras de isolamento térmico perimetral. São consideradas as espessuras entre 3 centímetros e 10 centímetros, com incrementos de 1 centímetro.

Depois de uma observação destes quadros, conclui-se que as diferenças de valores entre eles são mais acentuadas que para o caso em que o isolamento térmico perimetral está disposto na horizontal.

De qualquer forma e numa tentativa de simplificar sempre o cálculo, foram elaborados mais dois quadros que, à semelhança do ponto 4.5, pretendem mostrar as diferenças de valores entre o quadro para a espessura de isolamento de 3 centímetros e o de 6 centímetros e entre o quadro para a espessura de isolamento de 3 centímetros e o de 10 centímetros.

As cores são as mesmas utilizadas anteriormente, ou seja, a cor de laranja estão assinaladas as diferenças até $0,01 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$; a azul o que corresponde a valores situados entre $0,01 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e $0,02 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e a verde para os valores situados entre $0,02 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e $0,05 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Confirma-se então que as diferenças são mais acentuadas tal como previsto, especialmente entre os quadros para a menor e a maior espessura de isolamento térmico perimetral. No entanto, existe uma cumplicidade de valores aceitável entre as espessuras menores que são, mais provavelmente, aquelas que na prática se utilizarão, considerando os custos que uma maior espessura abarca e a maior dificuldade em integrá-la na ligação pavimento – fachada. Tomando novamente uma atitude conservadora, são novamente considerados como valores de referência, os do quadro relativo à espessura de isolamento térmico perimetral de 3 centímetros.

Propõe-se então o Quadro 28 para o cálculo simplificado dos coeficientes de transmissão térmica de pavimentos com isolamento perimetral vertical.

Quadro 28 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) para pavimentos em contacto com o terreno e com isolamento térmico perimetral vertical

	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$]					D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$]					D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$]				
	R_f ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C)/W}$					R_f ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C)/W}$					R_f ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C)/W}$				
B'	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3
3	0,79	0,57	0,44	0,29	0,2	0,72	0,53	0,41	0,27	0,2	0,68	0,5	0,39	0,26	0,19
4	0,69	0,52	0,41	0,28	0,21	0,63	0,49	0,39	0,27	0,2	0,6	0,47	0,38	0,26	0,2
6	0,55	0,43	0,36	0,26	0,2	0,51	0,41	0,34	0,25	0,2	0,49	0,4	0,33	0,25	0,19
10	0,4	0,33	0,28	0,22	0,18	0,38	0,31	0,27	0,21	0,17	0,36	0,31	0,27	0,21	0,17
15	0,3	0,25	0,22	0,18	0,15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15	0,28	0,24	0,21	0,17	0,15
20	0,24	0,21	0,19	0,15	0,13	0,23	0,2	0,18	0,15	0,13	0,23	0,2	0,18	0,15	0,13

A Fig.36 ilustra esquematicamente as condições em que se aplica o Quadro 28 e identifica alguns dos parâmetros envolvidos.

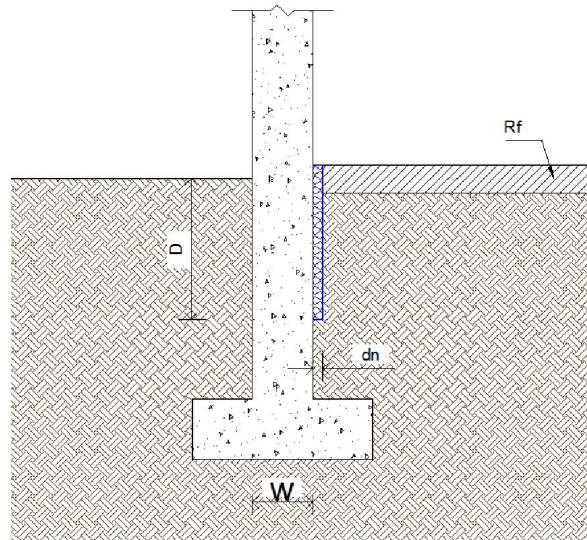


Fig.36 – Esquema paredes em contacto com o terreno e com isolamento térmico perimetral vertical

4.6. PAREDES EM CONTACTO COM O TERRENO

As paredes em contacto com o terreno são um elemento para o qual o actual método de cálculo português não revela grande discrepância nos resultados obtidos e relativamente aos outros regulamentos e à norma. No entanto e, seguindo o raciocínio e método de aplicação propostos até agora, também para este caso foi procurado um quadro que forneça valores mais precisos, trabalhando para isso com um coeficiente de transmissão térmica plana, ao invés do coeficiente de transmissão térmica linear que é um pouco mais impreciso para este caso de elemento em contacto com o terreno.

Os parâmetros envolvidos para o cálculo sugerido pela norma ISO 13370 são a espessura equivalente da parede enterrada (d_w), a resistência térmica desta parede (R_w), o coeficiente de condutibilidade térmica do terreno (λ) e a espessura equivalente do pavimento (d_t).

Como o número de parâmetros envolvidos é relativamente pequeno, a análise de sensibilidade não será tão trabalhosa como as anteriores.

Quanto ao valor da condutibilidade térmica do terreno, será adoptado o valor de $2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$ pelos factos anteriormente explicados e próprios de um possível desconhecimento da constituição do solo.

Numa primeira variação de parâmetros, foram gerados quadros com o valor de coeficientes de condutibilidade térmica para diferentes combinações de resistências térmicas de pavimentos com espessuras de paredes. Ambos os valores condicionam a espessura equivalente do pavimento, o que pela análise efectuada anteriormente à norma ISO 13370 (ver ponto 2.2.6.3.), poderá originar uma alteração na expressão de cálculo no caso do valor desta espessura equivalente ser superior ou inferior ao da espessura equivalente da parede enterrada.

Os valores adoptados para as resistências térmicas do pavimento são os já utilizados anteriormente, ou seja, $0,50 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$, $1,0 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$, $2,0 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ e $3,0 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$. Quanto a valores utilizados para a espessura da parede enterrada, foi considerada a hipótese já anteriormente adoptada para a realidade da construção portuguesa (40 centímetros) e ainda uma segunda espessura também possível neste tipo de paredes, nomeadamente quando estas apenas são construídas em betão armado e revestimento, ou seja, 30 centímetros.

No Anexo A.22 podem ser consultados os quadros originados por esta simulação para um estudo de sensibilidade.

Numa análise breve dos quadros percebe-se que quase todos os valores para o coeficiente de transmissão térmica são idênticos entre si. Desta forma e tal como se pode notar na última página deste mesmo anexo, foram simulados novos quadros, desta vez cada um deles correspondendo à média dos valores obtidos para cada uma das resistências térmicas do pavimento de cada espessura de parede. Comparando estes novos quadros de médias com os quadros que os originaram, percebe-se que as alterações de valores são mínimas e quase sempre ocultas devido ao número de casas decimais que se está a considerar. Conclui-se então que a resistência térmica do pavimento pouco influenciará no cálculo do coeficiente de transmissão térmica quando se utiliza um método simplificado.

Relacionando agora os quadros de médias obtidos para cada espessura de parede, mais uma vez se conclui que as diferenças existentes entre ambos são insignificantes e à semelhança da análise anterior, ocultas pelo número de casas decimais em utilização.

É possível então simular novo quadro que corresponderá, para que não se perca demasiada precisão, à média aritmética dos dois últimos quadros obtidos. Surge então o Quadro 29 cujos valores dos resultados variam directamente com a diferença de nível entre as cotas do terreno e da parte superior do pavimento e a resistência térmica da parede em análise.

Para o primeiro parâmetro foi considerado um valor inicial de 0,0 metros, ou seja o limite teórico para que a parede ainda possa ser considerada enterrada. Como valor máximo deste parâmetro, adoptou-se um que retratará o equivalente a aproximadamente dois pés-direitos destinados a habitação, o que se poderá considerar aceitável sob o ponto de vista de realidade na construção portuguesa.

Para o segundo parâmetro foi considerado um valor mínimo de $0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica da parede enterrada. Este valor poderá ser discutível devido ao facto de na realidade não ser praticável pois por um único constituinte que uma parede tenha, esta terá sempre um valor de resistência térmica superior a este arbitrado. No entanto e considerando por exemplo uma parede simples de betão armado com 30 centímetros de espessura, nota-se que já é possível atingir um valor muito baixo para esta resistência, revelando-se afinal útil este valor mínimo para possíveis interpolações a efectuar.

Quadro 29 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) por paredes em contacto com o terreno para os valores de $\lambda = 2 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ e $R_w = 0, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5$ e $3,0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$

z	$R_w \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,36	0,30
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,33	0,28
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,36	0,30	0,26
2	1,32	0,70	0,50	0,38	0,31	0,27	0,23
3	1,02	0,58	0,43	0,34	0,28	0,24	0,21
4	0,84	0,50	0,38	0,30	0,25	0,22	0,19
5	0,72	0,44	0,34	0,27	0,23	0,20	0,18
6	0,64	0,39	0,31	0,25	0,21	0,19	0,17

Numa nova tentativa de simplificação do Quadro 29, foi verificada a possibilidade de ocultar colunas ou linhas que possam ser obtidas de forma aproximada por interpolação linear.

Depois de testadas várias hipóteses relativamente às colunas, conclui-se que a única que poderá ser ocultada sem que se cometam grandes erros numa futura interpolação, é a relativa à resistência térmica do pavimento de $2,50 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

Após a análise da possível supressão de linhas, conclui-se que é também possível ocultar as linhas referentes a um valor de $z = 3$ metros e $z = 5$ metros, sendo estes valores novamente obtidos por interpolação linear e sem grande erro.

Surge então o Quadro 30, já optimizado e que servirá como proposta metodológica para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica por paredes em contacto com o terreno. A Fig.37 ilustra as condições consideradas.

Quadro 30 – Coeficientes de transmissão térmica U_e ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para paredes em contacto com o terreno

z	$R_w \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					
	0	0,5	1	1,5	2	3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,30
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,28
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,36	0,26
2	1,32	0,70	0,50	0,38	0,31	0,23
4	0,84	0,50	0,38	0,30	0,25	0,19
≥ 6	0,64	0,39	0,31	0,25	0,21	0,17

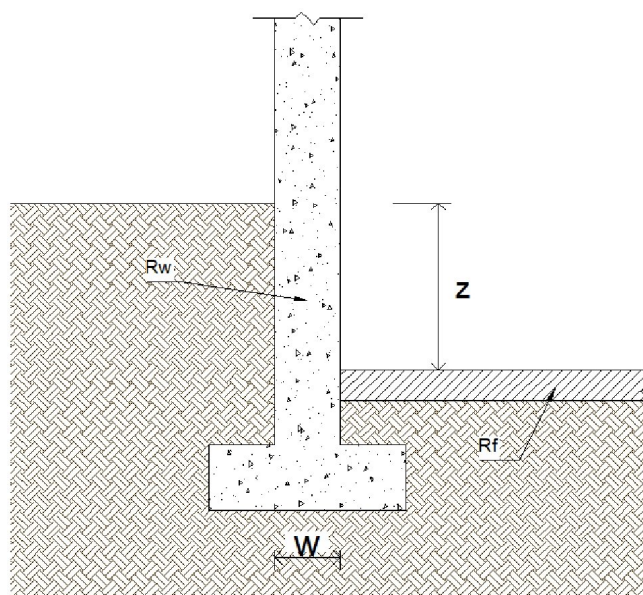
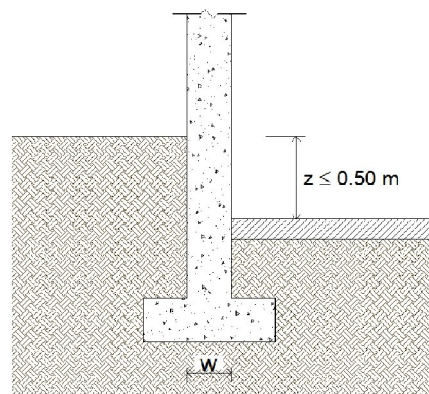


Fig.37 – Esquema paredes em contacto com o terreno

4.7. SÍNTESE DA PROPOSTA

$U_e [W/m^2 \cdot ^\circ C]$ - Pavimentos em contacto com o terreno ($z \geq 0,50$ m)

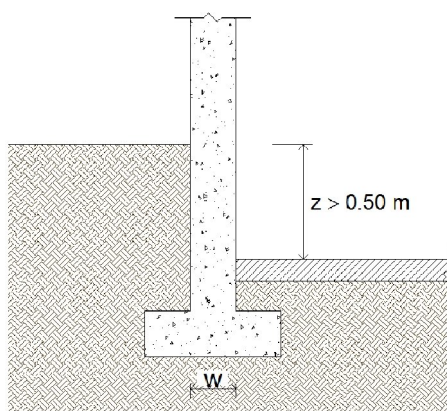
B'	$R_f^{(2)} (m^2 \cdot ^\circ C)/W$			
	0,5	1	2	3
3	0,65	0,48	0,32	0,24
4	0,57	0,44	0,3	0,23
6	0,47	0,38	0,27	0,21
10	0,35	0,29	0,22	0,18
15	0,27	0,23	0,18	0,15
≥ 20	0,22	0,19	0,16	0,13



Para pavimentos com resistência térmica inferior a $0,50 m^2 \cdot ^\circ C/W$, o valor do seu coeficiente de transmissão térmica corresponde a $[1.15 \times U_{Rf(0,5)}] W/m^2 \cdot ^\circ C$

$U_e [W/m^2 \cdot ^\circ C]$ - Pavimentos em contacto com o terreno ($z < 0,50$ m)

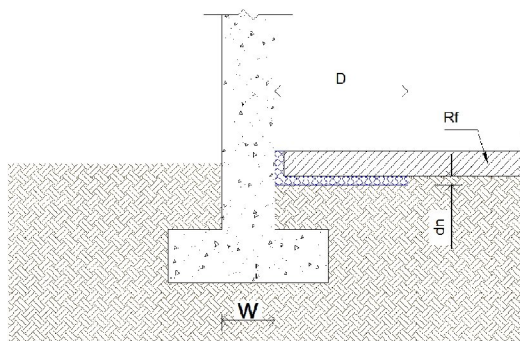
B'	$0,5 < z \leq 1,0$				$1,0 < z \leq 2,0$				$2,0 < z \leq 3,0$				$z \geq 3$			
	$R_f (m^2 \cdot ^\circ C)/W$				$R_f (m^2 \cdot ^\circ C)/W$				$R_f (m^2 \cdot ^\circ C)/W$				$R_f (m^2 \cdot ^\circ C)/W$			
	0,5	1	2	3	0,5	1	2	3	0,5	1	2	3	0,5	1	2	3
3	0,57	0,44	0,3	0,23	0,51	0,41	0,29	0,22	0,45	0,37	0,27	0,21	0,39	0,32	0,24	0,2
4	0,52	0,41	0,28	0,22	0,47	0,37	0,27	0,21	0,42	0,34	0,25	0,2	0,36	0,3	0,23	0,19
6	0,43	0,35	0,25	0,2	0,4	0,33	0,24	0,19	0,36	0,3	0,23	0,18	0,31	0,27	0,21	0,17
10	0,32	0,28	0,21	0,17	0,3	0,26	0,2	0,17	0,28	0,24	0,19	0,16	0,25	0,22	0,18	0,15
15	0,25	0,22	0,18	0,15	0,24	0,21	0,17	0,14	0,22	0,2	0,16	0,14	0,2	0,18	0,15	0,13
≥ 20	0,21	0,18	0,15	0,13	0,2	0,18	0,15	0,13	0,19	0,17	0,14	0,12	0,17	0,16	0,13	0,12



Para pavimentos com resistência térmica inferior a $0,50 m^2 \cdot ^\circ C/W$, o valor do seu coeficiente de transmissão térmica corresponde a $[1.10 \times U_{Rf(0,5)}] W/m^2 \cdot ^\circ C$

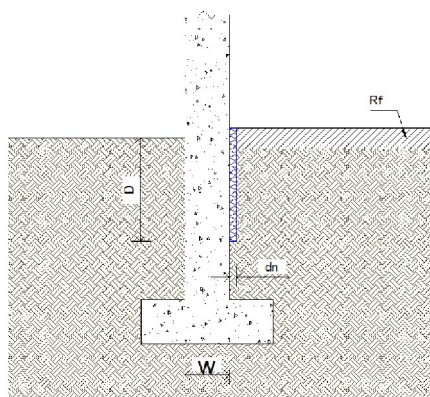
U_e [W/m².°C] - Pavimentos em contacto com o terreno e com isolamento térmico perimetral horizontal

B'	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0$ W/(m.°C)]					D = 1,0 m [$\lambda = 2,0$ W/(m.°C)]					D = 1,5 m [$\lambda = 2,0$ W/(m.°C)]				
	R_f (m ² .°C)/W					R_f (m ² .°C)/W					R_f (m ² .°C)/W				
	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3
3	0,86	0,6	0,46	0,29	0,21	0,79	0,57	0,44	0,29	0,2	0,75	0,55	0,42	0,28	0,2
4	0,74	0,54	0,42	0,29	0,21	0,69	0,52	0,41	0,28	0,21	0,66	0,5	0,4	0,28	0,2
6	0,59	0,45	0,36	0,26	0,2	0,55	0,43	0,36	0,26	0,2	0,53	0,42	0,35	0,26	0,2
10	0,42	0,34	0,28	0,22	0,18	0,4	0,33	0,28	0,22	0,18	0,38	0,32	0,27	0,21	0,18
15	0,32	0,26	0,23	0,18	0,15	0,3	0,25	0,22	0,18	0,15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15
20	0,26	0,21	0,19	0,15	0,13	0,24	0,21	0,19	0,15	0,13	0,24	0,21	0,18	0,15	0,13



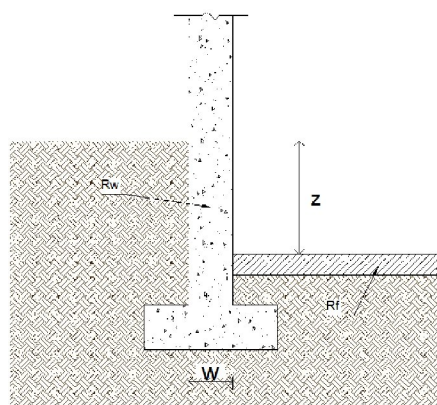
U_e [W/m².°C] - Pavimentos em contacto com o terreno e com isolamento térmico perimetral vertical

B'	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0$ W/(m.°C)]					D = 1,0 m [$\lambda = 2,0$ W/(m.°C)]					D = 1,5 m [$\lambda = 2,0$ W/(m.°C)]				
	R_f (m ² .°C)/W					R_f (m ² .°C)/W					R_f (m ² .°C)/W				
	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3
3	0,79	0,57	0,44	0,29	0,2	0,72	0,53	0,41	0,27	0,2	0,68	0,5	0,39	0,26	0,19
4	0,69	0,52	0,41	0,28	0,21	0,63	0,49	0,39	0,27	0,2	0,6	0,47	0,38	0,26	0,2
6	0,55	0,43	0,36	0,26	0,2	0,51	0,41	0,34	0,25	0,2	0,49	0,4	0,33	0,25	0,19
10	0,4	0,33	0,28	0,22	0,18	0,38	0,31	0,27	0,21	0,17	0,36	0,31	0,27	0,21	0,17
15	0,3	0,25	0,22	0,18	0,15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15	0,28	0,24	0,21	0,17	0,15
20	0,24	0,21	0,19	0,15	0,13	0,23	0,2	0,18	0,15	0,13	0,23	0,2	0,18	0,15	0,13



$U_e [W/m^2 \cdot ^\circ C]$ - Paredes em contacto com o terreno

z	$R_w (m^2 \cdot ^\circ C)/W$					
	0	0,5	1	1,5	2	3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,30
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,28
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,36	0,26
2	1,32	0,70	0,50	0,38	0,31	0,23
4	0,84	0,50	0,38	0,30	0,25	0,19
≥ 6	0,64	0,39	0,31	0,25	0,21	0,17



5

APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO E COMPARAÇÃO COM OS RESTANTES MODELOS

5.1. APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO PARA A FUTURA REVISÃO DO RCCTE

Depois de estudado e idealizado um novo modelo para o cálculo das perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno, surge a necessidade de comprovar a sua aplicabilidade a diversas situações, funcionando esta fase como uma fase de testes. Para o efeito e pensando na comparação a efectuar, este será aplicado nos edifícios analisados anteriormente, tanto esquemáticos como reais.

A forma como são apresentados os resultados é semelhante à dos pontos 3.5.1.2. e 3.5.2.2. para que se possa perceber a flexibilidade e a quantidade de cálculos necessários à sua aplicação.

5.1.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO AOS EDIFÍCIOS ESQUEMÁTICOS

Não são conhecidas as propriedades do solo em qualquer dos casos.

O Anexo A.27 detalha todo o processo de cálculo efectuado e relativo às perdas pelos elementos em contacto com o terreno para os edifícios esquemáticos.

No Quadro 31 são sintetizados os resultados obtidos para este cálculo.

Quadro 31 – Perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno para os Edifícios Esquemáticos com nova proposta

Exemplo	Regulamento Português	Regulamento Espanhol	Regulamento Francês	ISO 13370	Nova Proposta
	$L_{pe} (W/^{\circ}C)$	$U_{Tm} (W/^{\circ}C)$	$H_g (W/^{\circ}C)$	$H_g (W/^{\circ}C)$	$H_g (W/^{\circ}C)$
A.1	62,4	79,63	52,13	50,98	52,27
A.2	48	58,4	37,8	36,7	37,70
A.3	67,2	88,74	58,99	57,97	59,50
A.4	67,2	88,74	72,93	72,93	72,96
A.5	60	67,28	42,55	41,69	42,66

A.6	82,2	86,72	65,89	65,14	66,32
A.7	81	73,29	63,53	63,25	65,07
A.8	86,8	123,17	95,87	95,87	106,31
A.9	78	99,7	81,5	81,5	89,95

5.1.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO AOS EDIFÍCIOS REAIS

Não são conhecidas as propriedades do solo em qualquer dos casos.

O Anexo A.28 detalha todo o processo de cálculo efectuado e relativo às perdas pelos elementos em contacto com o terreno para os edifícios reais.

No Quadro 32 são sintetizados os resultados obtidos para este cálculo.

Quadro 32 – Perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno para os Edifícios Reais com nova proposta

Exemplo	Regulamento Português	Regulamento Espanhol	Regulamento Francês	ISO 13370	Nova Proposta
	$L_{pe} (W/^{\circ}C)$	$U_{Tm} (W/^{\circ}C)$	$H_g (W/^{\circ}C)$	$H_g (W/^{\circ}C)$	$H_g (W/^{\circ}C)$
B.1	58,56	62,69	43,79	43,79	43,18
B.2	98,46	81,04	56,53	56,53	57,57
B.3	67,65	58,92	39,41	39,29	39,96

5.2. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DO MODELO PROPOSTO PARA A FUTURA REVISÃO DO RCCTE COM OS RESTANTES MODELOS EXISTENTES

Depois de analisado cada um dos modelos existentes nos diferentes países para o cálculo das perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno bem como a norma ISO 13370, tornou-se necessário fazer a aplicação dos métodos a alguns edifícios. Também desta forma foi necessário fazer a aplicação do método de cálculo proposto aos mesmos edifícios para que agora se possam comparar os resultados com os anteriores, percebendo-se se realmente é vantajoso alterar a actual metodologia de cálculo regulamentar relativa a este tipo de perdas.

A análise comparativa a ser efectuada é idêntica à já desenvolvida anteriormente, nos pontos 3.5.1.3. e 3.5.2.3., considerando sempre como base de comparação a norma 13370 mas percebendo se relativamente aos outros regulamentos existem grandes diferenças ou não.

Um primeiro aspecto a notar é observar em que posições se encontram as perdas térmicas obtidas por aplicação do método exposto ao longo do Capítulo 4 face aos restantes métodos.

Analisando as Fig.38 e Fig.39, percebe-se que a gama de resultados obtidos se aproximam bastante dos que se obtém quando aplicada a norma 13370 ou a regulamentação francesa. Depois de toda a análise efectuada ao longo deste trabalho a esta última regulamentação, sabe-se que existe uma enorme cumplicidade entre ela e a norma em estudo, daí que a aproximação dos resultados do método proposto seja simultaneamente verificada relativamente a este regulamento e ao texto normativo.

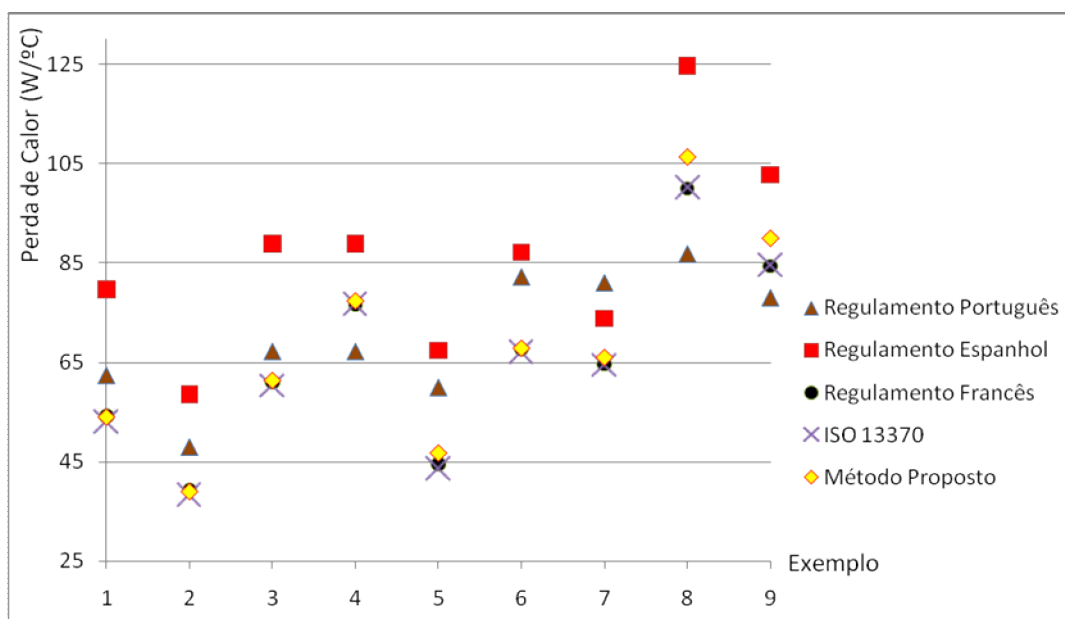


Fig.38 – Perdas térmicas globais nos Edifícios Esquemáticos, incluindo o Método Proposto

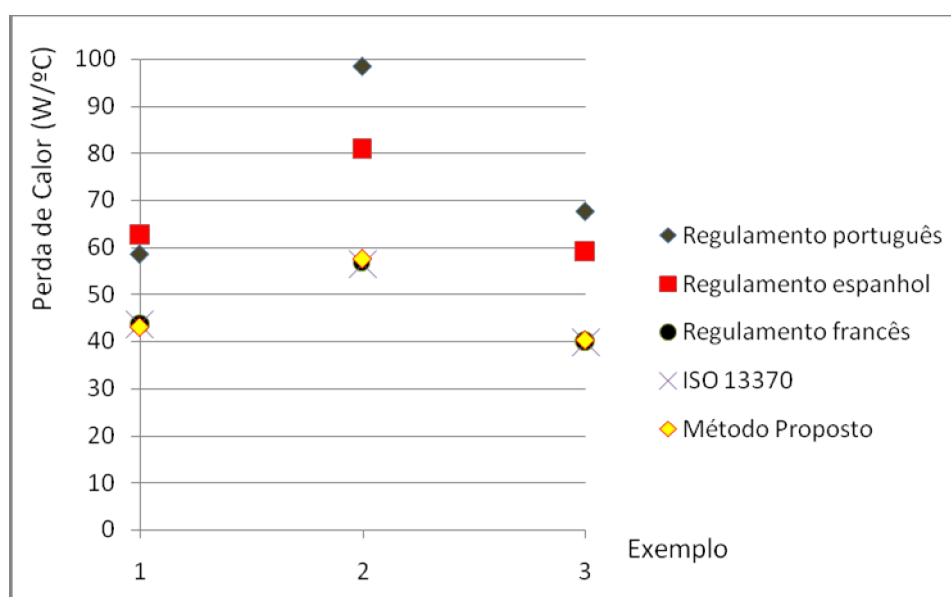


Fig.39 – Perdas térmicas globais nos Edifícios Reais, incluindo o Método Proposto

Uma análise mais precisa aos valores obtidos pela simplificação proposta, demonstra que estes são da ordem de grandeza dos que se obtêm por aplicação da norma, ocorrendo, relativamente a esta, um desvio máximos de valores, por excesso, de 7% e um desvio mínimo de 1%, quando aplicada ao Edifícios Esquemáticos, tal como pode ser observado na Fig. 40. Quando se aplica aos Edifícios Reais, este mesmo desvio é, para o caso do primeiro de quase 1% por defeito e para os edifícios 2 e 3 de 2% e 1% por excesso, respectivamente (ver Fig.41).

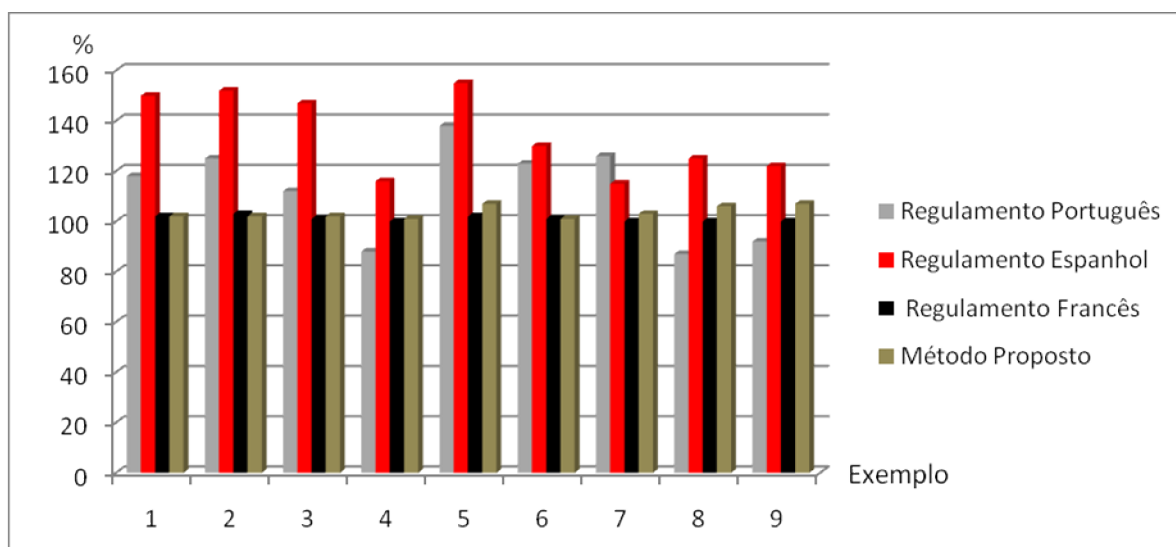


Fig.40 – Razão entre os resultados da aplicação dos 3 Regulamentos e do Método Proposto e os da norma ISO 13370 nos Edifícios Esquemáticos

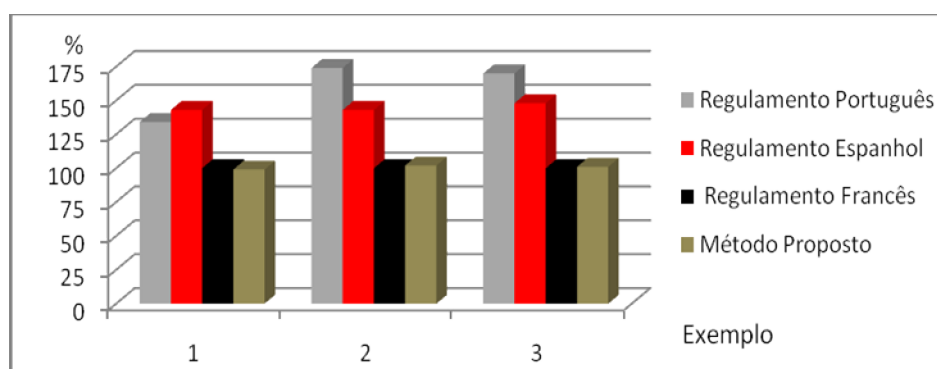


Fig.41 – Razão entre os resultados da aplicação dos 3 Regulamentos e do Método Proposto e os da norma ISO 13370 nos Edifícios Reais

Numa expectativa de análise mais crítica aos resultados obtidos, é ainda elaborado um novo gráfico, cujo objectivo será o de comparar a aplicação do método proposto com o que actualmente está previsto em Portugal. Surgem então as Fig.42 e Fig.43 que mostram de uma forma muito expedita a relação existente entre eles. Percebe-se que, para o caso em que existe apenas isolamento térmico perimetral no pavimento, o novo método veio agravar a quantidade de perdas face ao actualmente previsto no RCCTE. O mesmo acontece para os casos em que existem pavimentos não isolados termicamente.

Por outro lado e, especialmente nos casos em que as perdas por pavimentos não enterrados têm uma forte componente nas perdas totais por elementos em contacto com o terreno, o novo método veio melhorar bastante a situação face ao actual método português. No Edifício Real 2 as perdas são 71% superiores no regulamento nacional face às determinadas pela nova metodologia de cálculo.

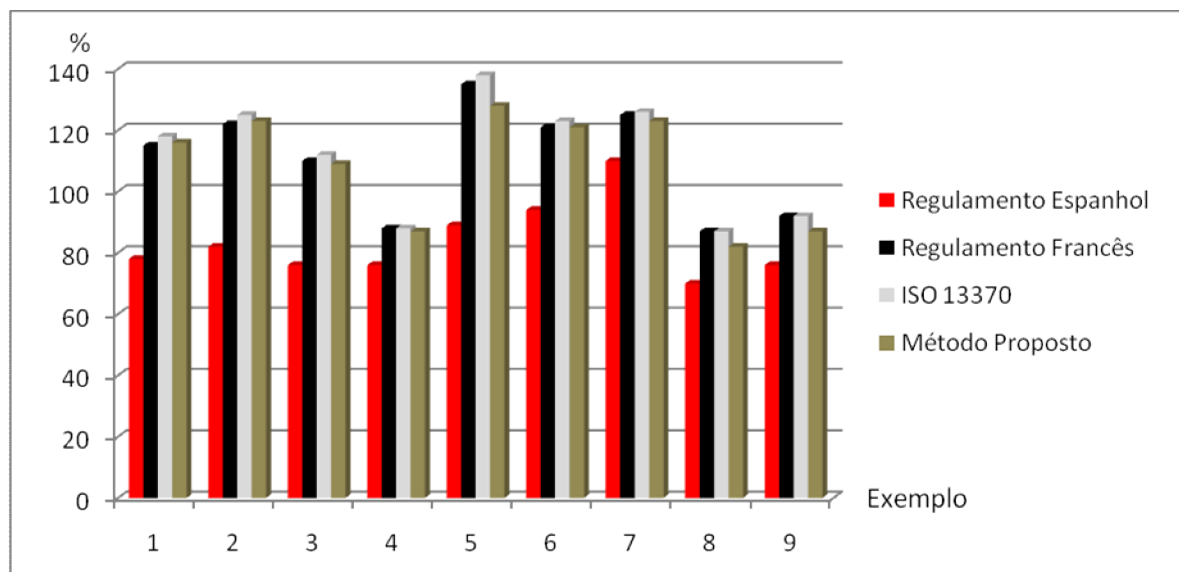


Fig.42 – Razão entre os resultados do Regulamento Português e os dos restantes Regulamentos, norma e Método Proposto, nos Edifícios Esquemáticos

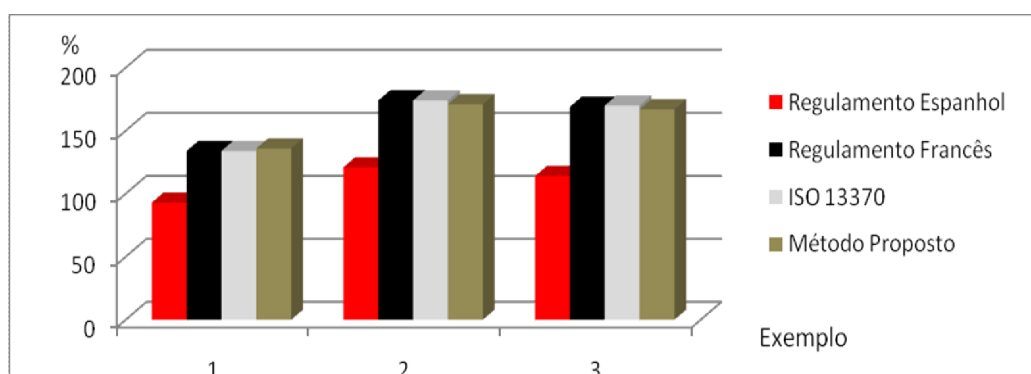


Fig.43 – Razão entre os resultados do Regulamento Português e os dos restantes Regulamentos, norma e Método Proposto, nos Edifícios Reais

Comparado o método proposto com as restantes metodologias de cálculo, é importante perceber como estão distribuídas perdas pelos diversos elementos em contacto com o terreno e para cada caso estudado. Desta forma, podemos comparar essa distribuição de perdas com as dos restantes modelos de cálculo e avaliar se estas foram alteradas, reforçando a justificação para as discrepâncias de resultados finais.

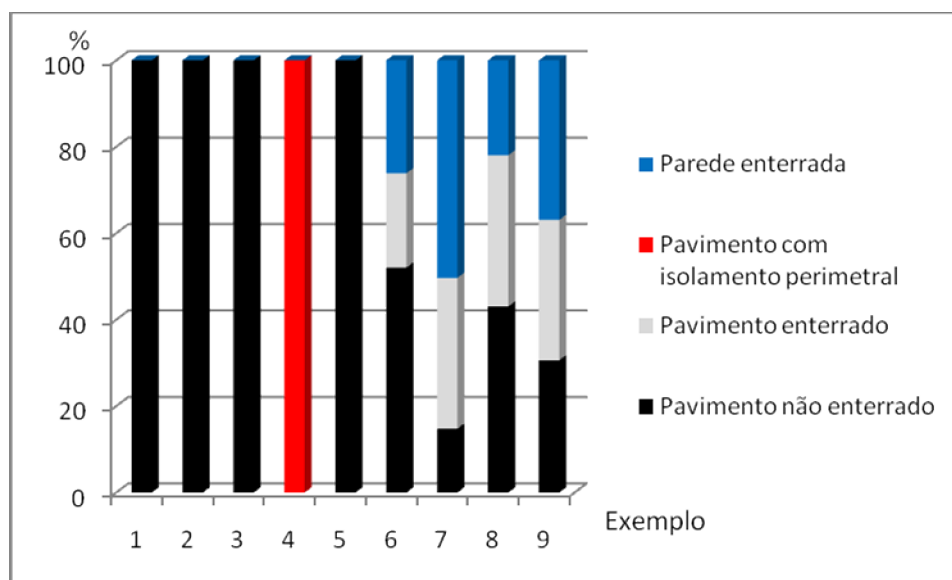


Fig.44 – Distribuição das perdas térmicas utilizando o Método Proposto nos Edifícios Esquemáticos

Por observação das Fig.23 e Fig.44, percebe-se que os pesos de cada elemento nas perdas totais são muito semelhantes entre a nova metodologia e a norma ISO 13370. No entanto, quando comparados com os da Fig.28, observa-se que já há grandes alterações nesses valores. Tal facto deve-se essencialmente ao modo como são classificados os elementos em contacto com o terreno e consequente forma de cálculo, o que, como já se concluiu anteriormente por observação da Fig.42, é bastante atenuado na quantificação das perdas face ao português caso se considere um pavimento isolado em toda a sua área ou então, agravado face ao mesmo regulamento, caso de considere o mesmo pavimento apenas com isolamento perimetral.

Procurando agora verificar efectivamente se o desempenho do edifício é afectado na sua globalidade pela alteração da metodologia de cálculo, foi elaborada a Fig.45 que comparara o valor de N_{ic}/N_i

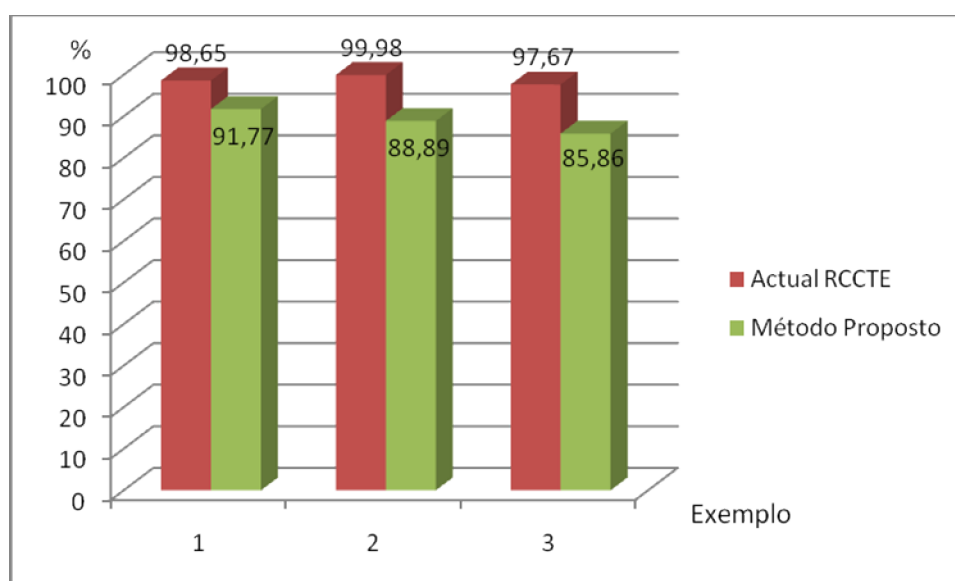


Fig.45 – Valores de N_{ic}/N_i para os Edifícios Reais

No Anexo A.7, relativo ao Edifício Real 1, poderá ser observada a forma como foi adaptada a folha de cálculo para a nova metodologia proposta que, ao contrário da actualmente em vigor, não considera perdas térmicas lineares mas sim perdas térmicas superficiais. No final deste anexo, verifica-se que a razão N_{ic}/N_i baixou bastante relativamente à encontrada anteriormente no Anexo A.3. Esta razão foi reduzida para cerca de 93% do seu valor inicial, o que manifestamente é excelente para a verificação das necessidades nominais de energia para aquecimento.

Também no Anexo A.13, este relativo ao Edifício Real 2, observa-se uma significativa redução na razão N_{ic}/N_i , mais precisamente para cerca de 89% do seu valor inicial.

Para o edifício do Edifício Real 3, a redução do valor de N_{ic}/N_i , ainda é maior, passando este a ser cerca de 88% do seu valor inicial.

Comprova-se, desta forma e por mais uma vez, que o método proposto ao aproximar as perdas térmicas dos valores obtidos pela norma ISO 13370, beneficia manifestamente o comportamento térmico do edifício para a situação de Inverno.

Esta situação acontece porque, tal como se verifica no Quadro 33, as perdas pelos elementos em contacto com o terreno têm significativa expressão nas perdas totais do edifício, atingindo valores na ordem dos 20% destas quando aplicado o actual RCCTE e reduzindo em cerca de 5% ao aplicar o novo método de cálculo proposto.

Quadro 33 – Perdas pelos elementos em contacto com o terreno relativamente às totais do edifício (%)

	Actual RCCTE	Método Proposto
1	19	14
2	18	12
3	11	7

6

CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Surgido o problema da verificação das necessidades de aquecimento, torna-se imperativo rever a metodologia de cálculo prevista no RCCTE, comparando-a à utilizada a diferentes países, sendo para este trabalho, seleccionados a Espanha e a França.

Após uma análise feita à regulamentação que actualmente vigora em Portugal, conclui-se que a metodologia é bastante simplificada em termos de processo de cálculo, considerando para o efeito, a utilização de coeficientes de transmissão térmica lineares. A sua utilização revela-se extremamente simples e de fácil compreensão, o que proporciona um cálculo rápido e medições na arquitectura muito fáceis de efectuar. No entanto esta está limitada pois uniformiza alguns casos que são distintos.

Quando se investiga a regulamentação utilizada em Espanha, percebe-se que já não proporciona um processo de cálculo tão expedito como o português. Estão previstas tabelas simplificadas para todas as situações de elementos em contacto com o terreno, o que permite uma maior abrangência do método sem que as condições de cálculo sejam muito diferentes das reais. Nesta metodologia as perdas térmicas já são calculadas utilizando coeficientes de transmissão térmica superficiais, o que obriga a um maior esforço na fase de medições em projecto. Será necessária uma medição não só de todo o perímetro exposto do pavimento como a sua área e a área das paredes que também possam estar em contacto com o terreno.

A regulamentação utilizada em França já não recorre tanto a simplificações tabeladas das diversas situações de elementos em contacto com o terreno. Neste caso apenas estão previstas simplificações para pavimentos não enterrados em contacto com o terreno e para pavimentos com isolamento térmico perimetral horizontal ou vertical. Todas as restantes situações são calculadas através da recorrência a expressões. Estas expressões são idênticas às previstas na norma ISO 13370. À semelhança do regulamento espanhol, também neste é necessário um maior esforço na fase de medições. Pelo facto de se trabalhar com coeficientes de transmissão térmica planos, têm que ser efectuadas medições às áreas de pavimentos e paredes em contacto com o terreno assim como ao perímetro de pavimento exposto.

Analisando a norma ISO 13370, fio condutor entre todos os regulamentos, percebe-se que, como seria de esperar, estão presentes os métodos de cálculo para todas as situações de elementos em contacto com o terreno. Para todas as situações são adoptadas expressões específicas bem como impostas condições para a utilização de cada uma delas. Os resultados obtidos por aplicação destas expressões são os valores com os quais serão comparados todos os obtidos por utilização dos outros métodos de

cálculo. A recorrência a esta norma obriga a ser conhecedor de diversas características do terreno e dos elementos em contacto com ele.

Quando se efectua uma análise numérica a todos os regulamentos seleccionados, percebe-se que para a actual situação portuguesa de cálculo das perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno, as simplificações introduzidas afectam consideravelmente a contabilização destas perdas quando a área de pavimento térreo não enterrado é dominante. Este facto é agravado ainda por se considerar apenas a contribuição do isolamento térmico perimetral para atenuar as perdas térmicas e não do isolamento de toda a área de pavimento, quando este existe. Os resultados após a aplicação deste regulamento situam-se, maioritariamente, acima dos obtidos por aplicação do regulamento francês e da norma ISO 13370 e abaixo dos correspondentes ao regulamento espanhol.

Uma análise aos resultados obtidos quando se utiliza o método proposto em Espanha revela que estes são os mais elevados de todos. Mais uma vez os edifícios são relativamente penalizados quando possuem um pavimento isolado em toda a sua área pois apenas se contabiliza o efeito de uma faixa periférica.

O regulamento francês, ao contrário dos restantes, obtém resultados muito próximos ou iguais aos obtidos por aplicação da norma ISO 13370. Estes são os mais baixos obtidos entre os três regulamentos analisados e, consequentemente, os que menos prejudicam o comportamento térmico do edifício no Inverno.

Percebidos os resultados que se podem obter por aplicação de cada um dos regulamentos, foi elaborado um novo método de cálculo, o qual tem como objectivo simplificar em tabelas o máximo número de situações e ao mesmo tempo manter a gama de resultados o mais próximo possível dos normativos.

O método proposto prevê quadros simplificados para as situações de pavimentos em contacto com o terreno, quer estes sejam isolados ou não e quer se encontrem num nível abaixo ou acima do nível do terreno, um quadro para o caso das paredes enterradas e dois quadros para quando existe isolamento térmico perimetral, um deles para o caso de este estar disposto na vertical e outro para o caso de disposição horizontal.

Por aplicação desta metodologia de cálculo proposta, conclui-se que o objectivo foi alcançado pois são obtidos resultados muito próximos dos da norma. A grande proximidade de resultados com estes é justificada pelo modo como a proposta foi elaborada, ou seja, pela preocupação em que as perdas térmicas fossem contabilizadas com o menor erro possível face ao método exposto na norma ISO 13370, utilizando as expressões nesta prevista para obtenção dos valores base dos quadros simplificativos.

6.2. PERSPECTIVAS DE FUTURO SOBRE O TEMA

Verificadas as dificuldades em que se faça cumprir o comportamento térmico do edifício na situação de Inverno, prevê-se uma revisão no seu método de cálculo. As perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno têm uma expressão significativa neste campo, concluindo-se que deve o método relativo a estes ser revisto e optimizado numa nova versão do RCCTE.

Sugere-se a utilização deste trabalho como base para uma possível alteração do método que possa vir a ser incorporado nessa revisão já que os resultados obtidos foram satisfatórios.

BIBLIOGRAFIA

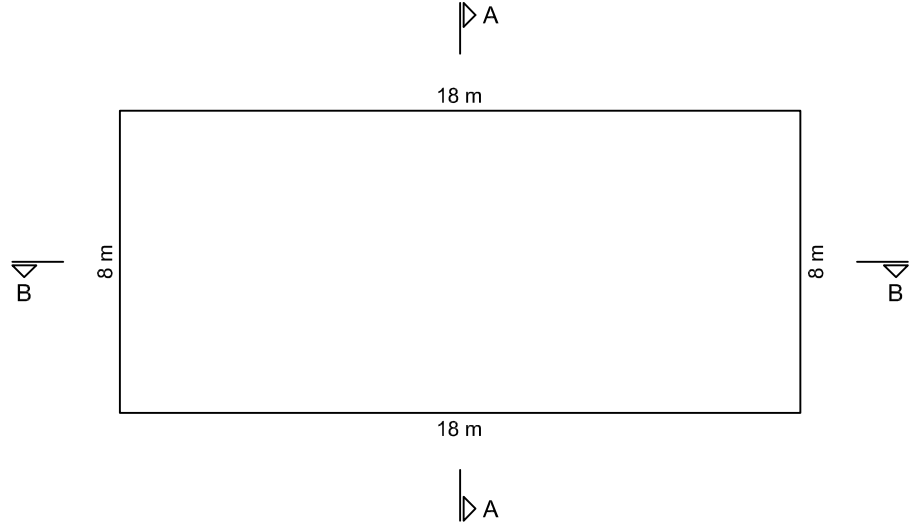
- [01] Rodrigues, A., Piedade, A. *Térmica de Edifícios*. Edições Orion, Lisboa, 2009.
- [02] EN ISO 13370:2007, *Thermal performance of buildings. Heat transfer via the ground. Calculation Methods*, European Committee for Standardization, Brussels, 2007.
- [03] *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril)*, Diário da República n.º 67, I Série, pp 2468 a 2513.
- [04] EN ISO 10211:2007, *Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations*, European Committee for Standardization, Brussels, 2007.
- [05] EN ISO 14683:2007, *Thermal bridges in building construction -- Linear thermal transmittance -- Simplified methods and default values*, European Committee for Standardization, Brussels, 2007.
- [06] http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/l38-1999.html, (29/01/2009).
- [07] <http://www.codigotecnico.org/index.php?id=33>, 27/01/2009.
- [08] http://www.codigotecnico.org/fileadmin/Ficheros_CTE/Documentos/CTEabr09/DB_HE_abril_2009.pdf, 27/01/2009
- [09] http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!CELEXnumdoc&numdoc=393L0076&lg=pt, 15/02/2009.
- [10] *Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios*, Jornal Oficial das Comunidades Europeias N.º L1 de 04/01/2003, pp. 65-71.
- [11] <http://www.droit.org/jo/copdf/Construction.pdf>, 19/02/2009.
- [12] *Réglementation Thermique 2005. Règles Th-U. Fascicule 4/5*, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, France, 2005

ANEXOS

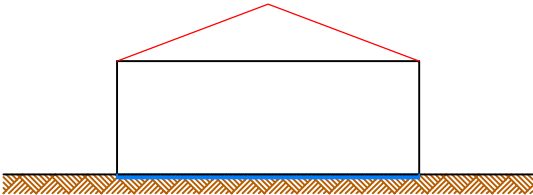
A.1. EXEMPLOS ESQUEMÁTICOS

EXEMPLO ESQUEMÁTICO 1 - Isolamento térmico em toda a área de pavimento

Planta



Corte AA

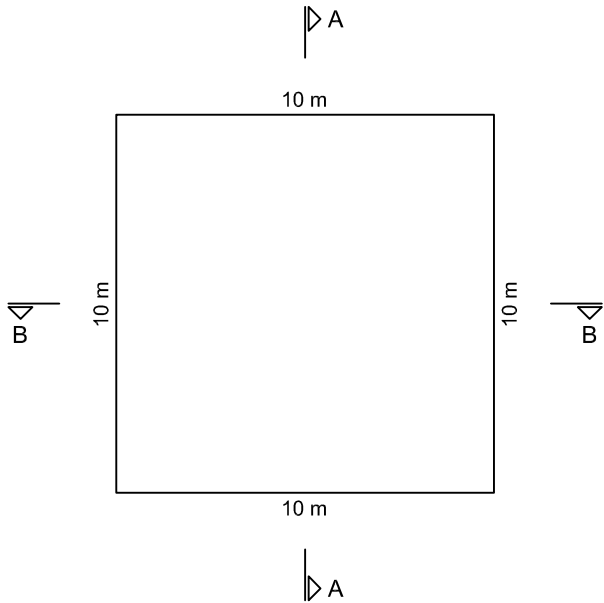


Corte BB

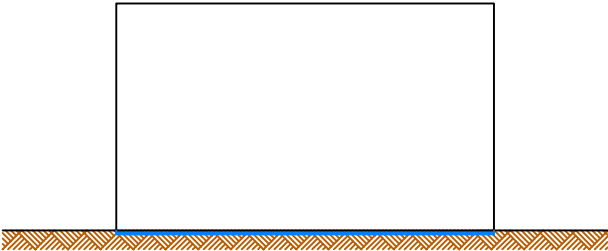


EXEMPLO ESQUEMÁTICO 2 - Isolamento térmico em toda a área de pavimento

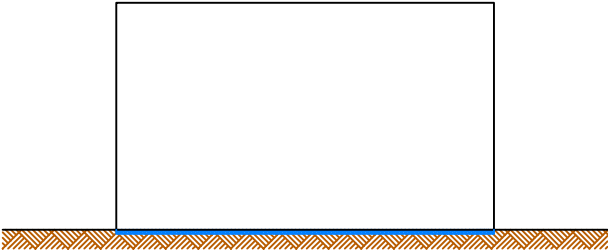
Planta



Corte AA

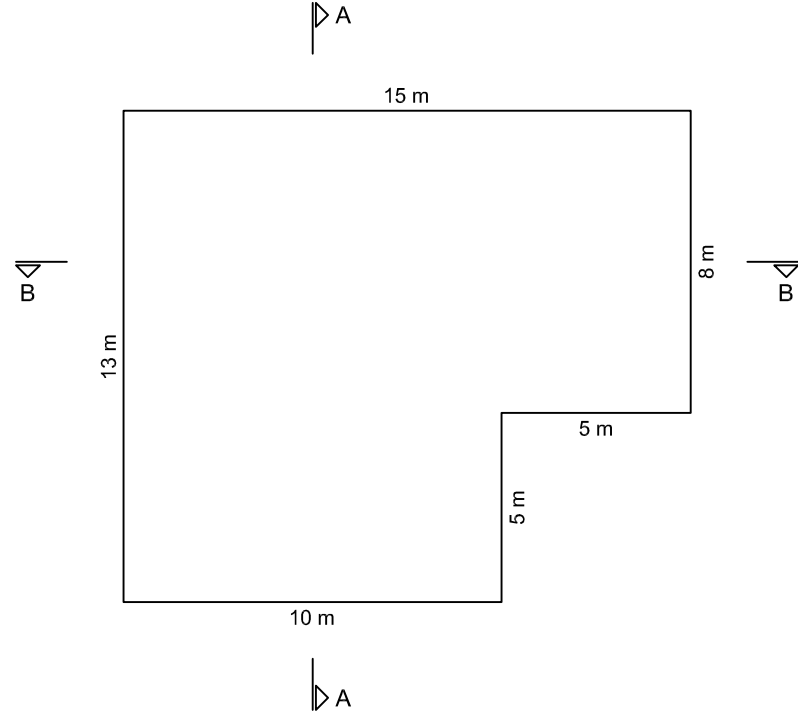


Corte BB

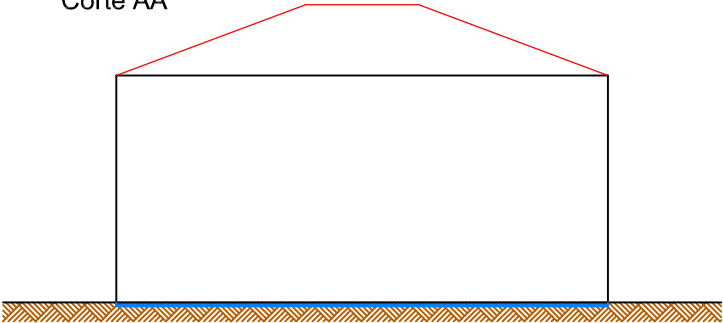


EXEMPLO ESQUEMÁTICO 3 - Isolamento térmico em toda a área de pavimento

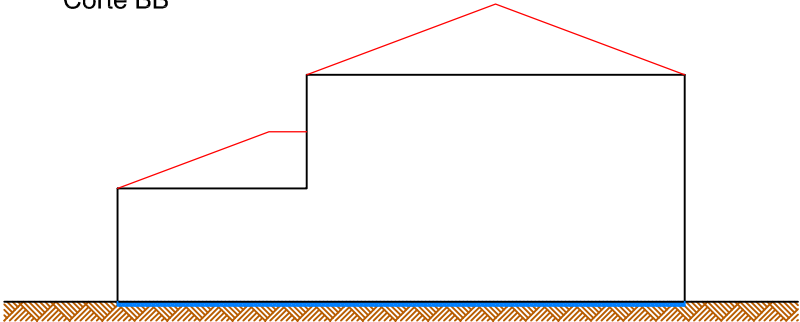
Planta



Corte AA

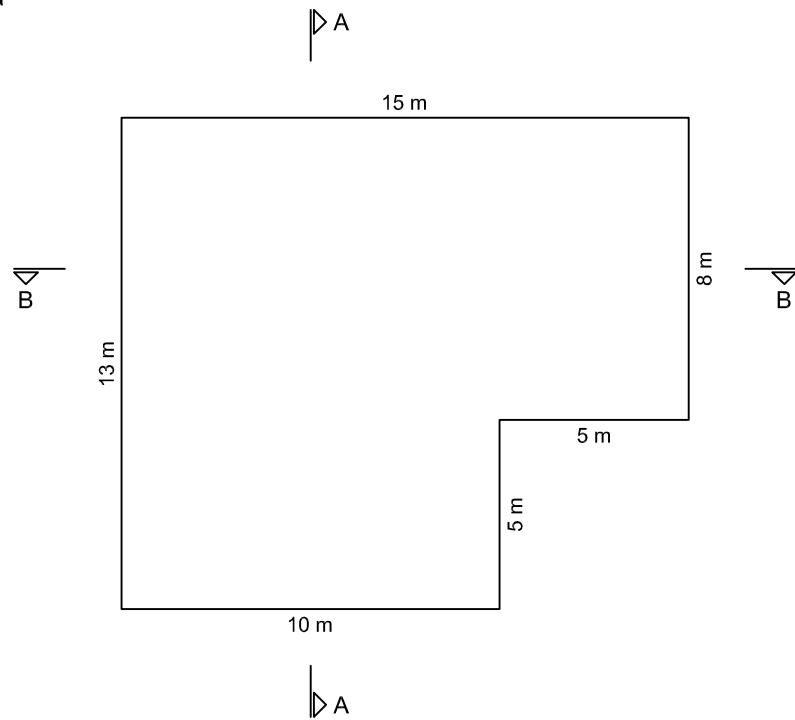


Corte BB

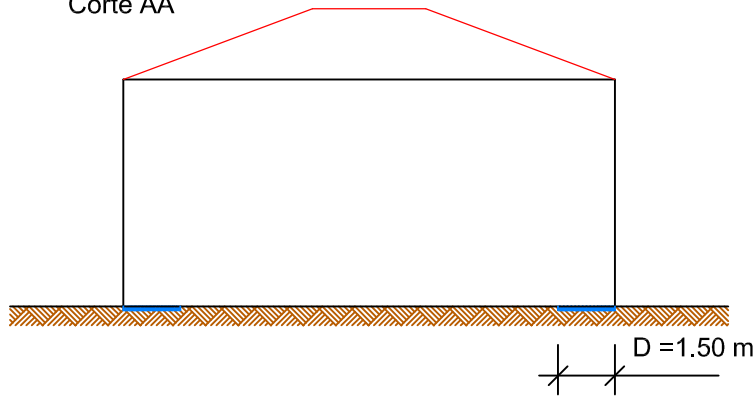


EXEMPLO ESQUEMÁTICO 4 - Isolamento térmico perimetral ($D = 1.5\text{ m}$)

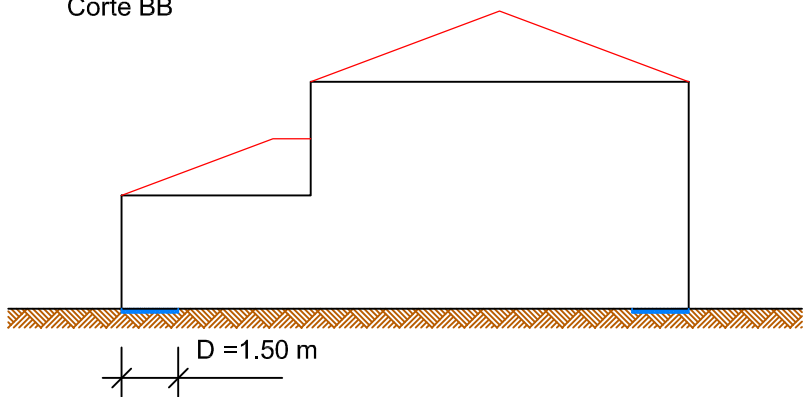
Planta



Corte AA

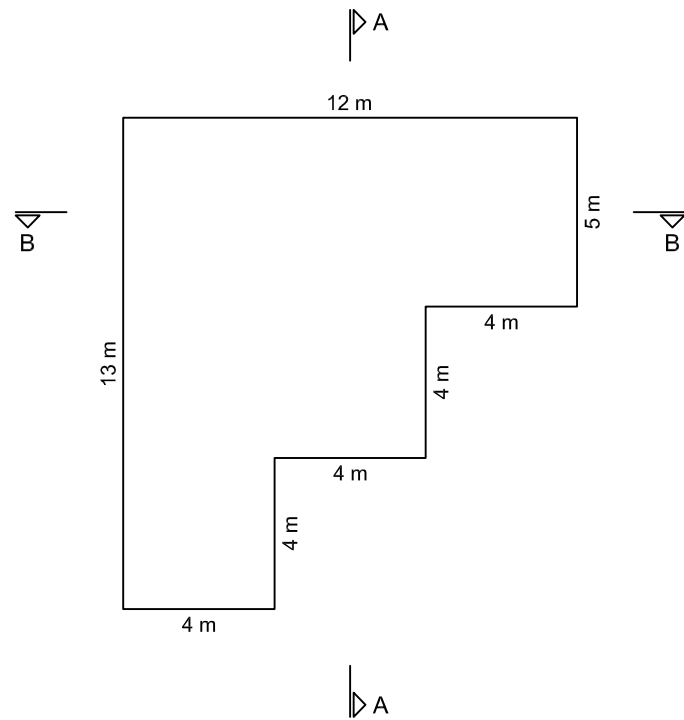


Corte BB

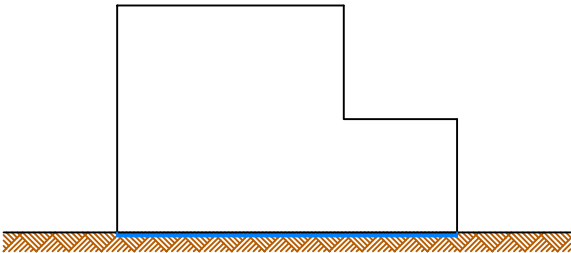


EXEMPLO ESQUEMÁTICO 5 - Isolamento térmico em toda a área de pavimento

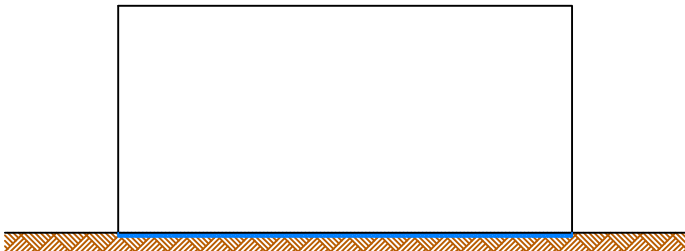
Planta



Corte AA

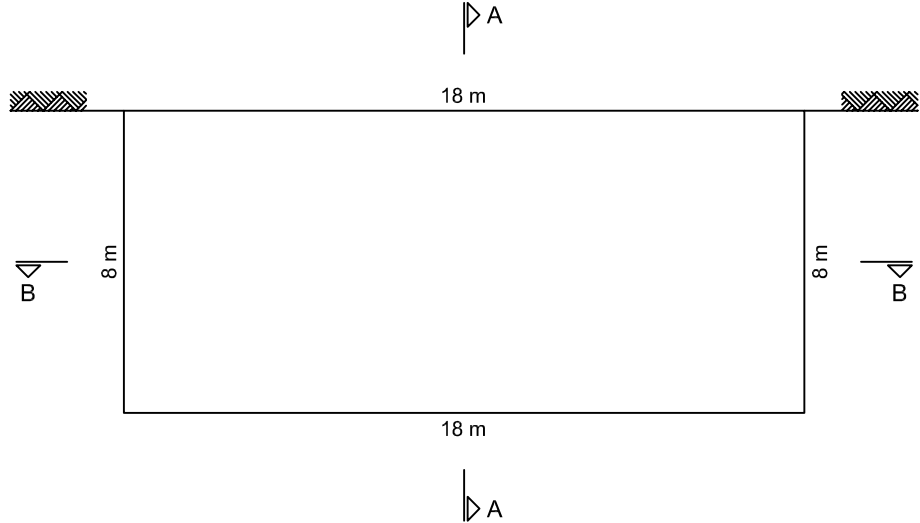


Corte BB

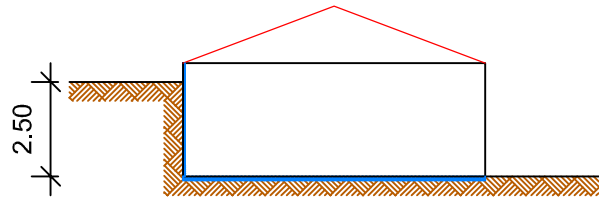


EXEMPLO ESQUEMÁTICO 6 - Isolamento térmico em toda a área de pavimento

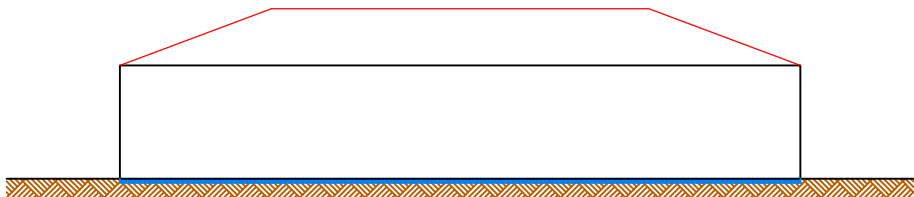
Planta



Corte AA

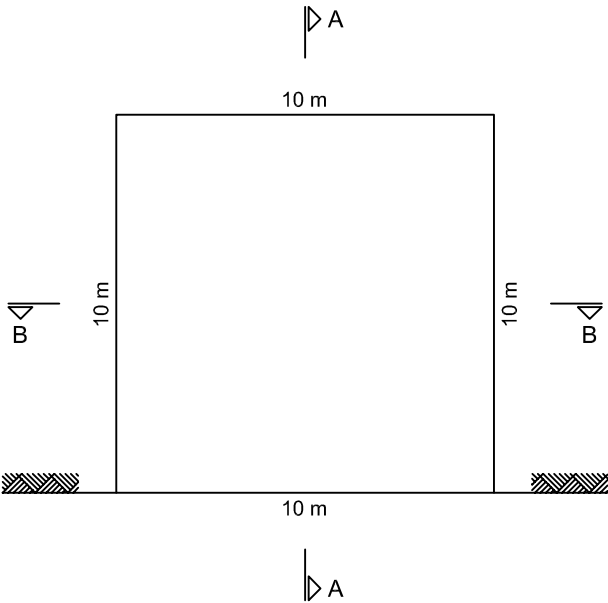


Corte BB

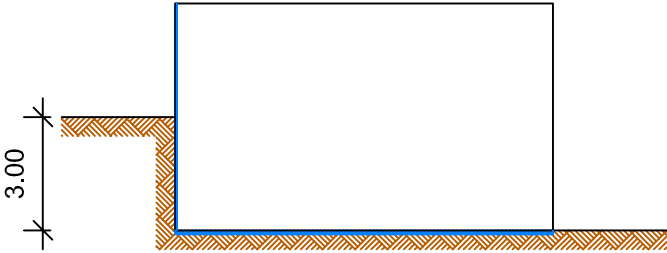


EXEMPLO ESQUEMÁTICO 7 - Isolamento térmico em toda a área de pavimento

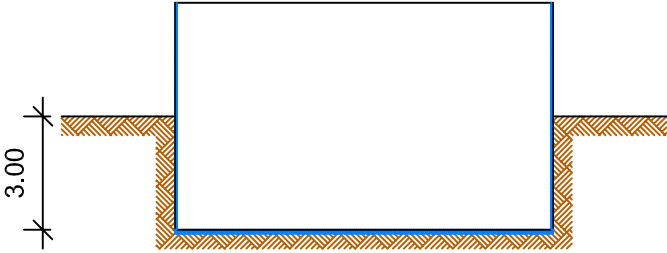
Planta



Corte AA

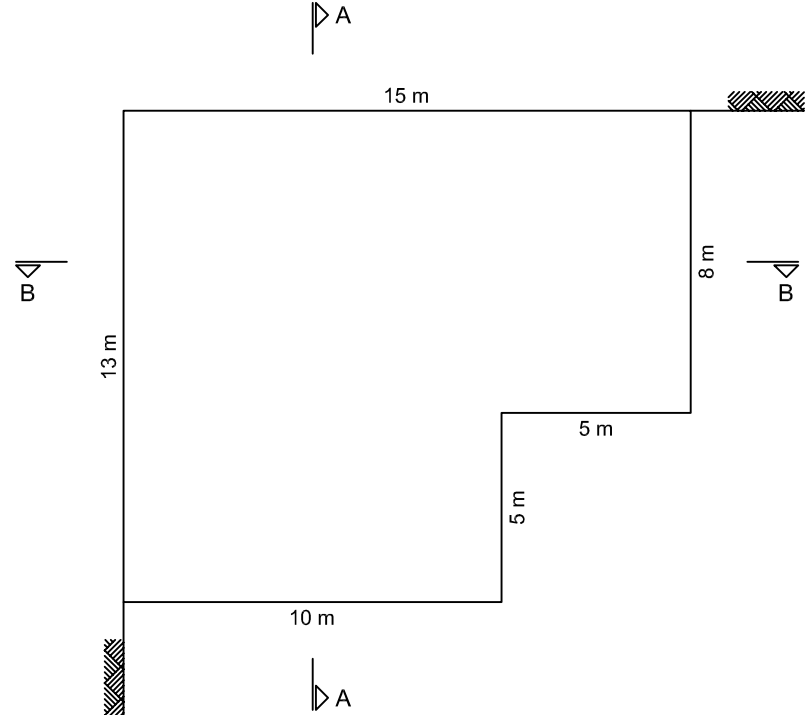


Corte BB

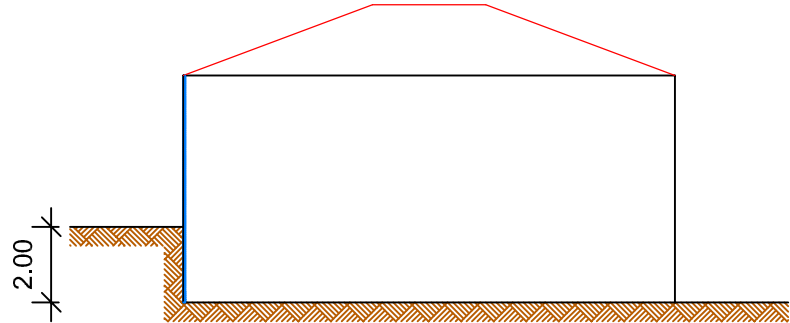


EXEMPLO ESQUEMÁTICO 8 - Sem isolamento térmico no pavimento

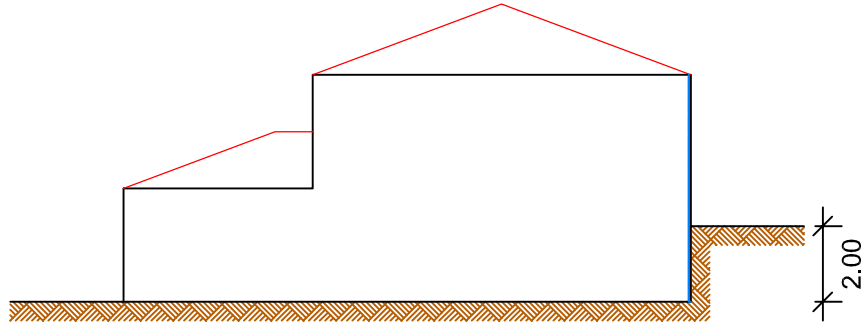
Planta



Corte AA

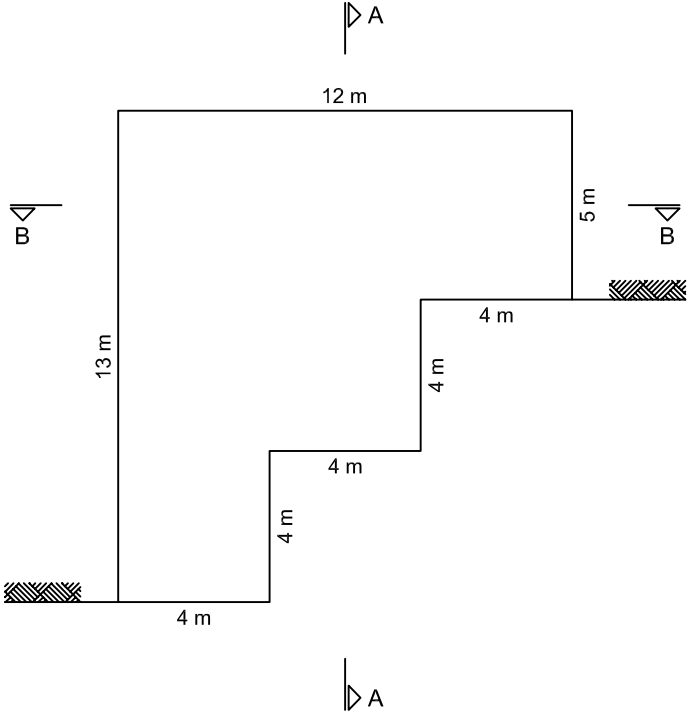


Corte BB

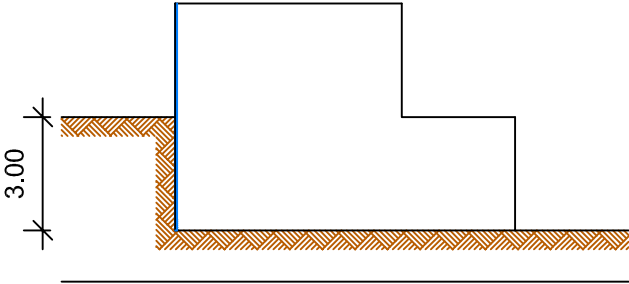


EXEMPLO ESQUEMÁTICO 9 - Sem isolamento térmico no pavimento

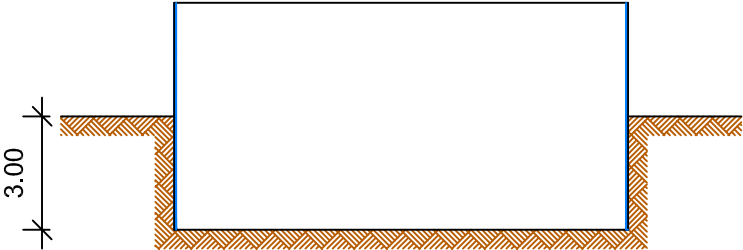
Planta



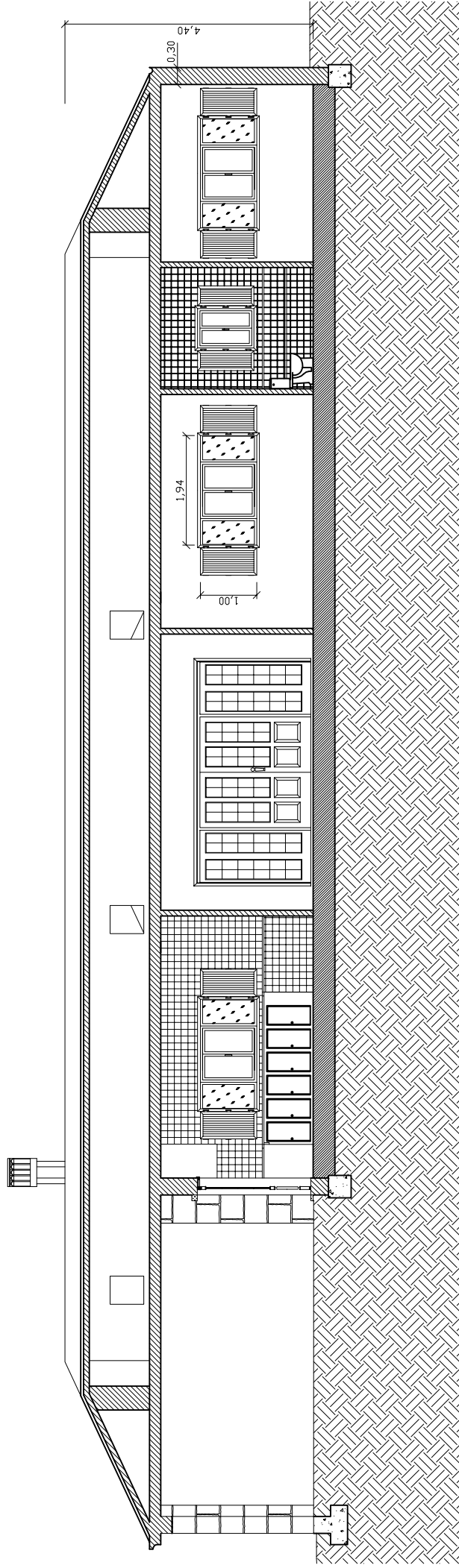
Corte AA



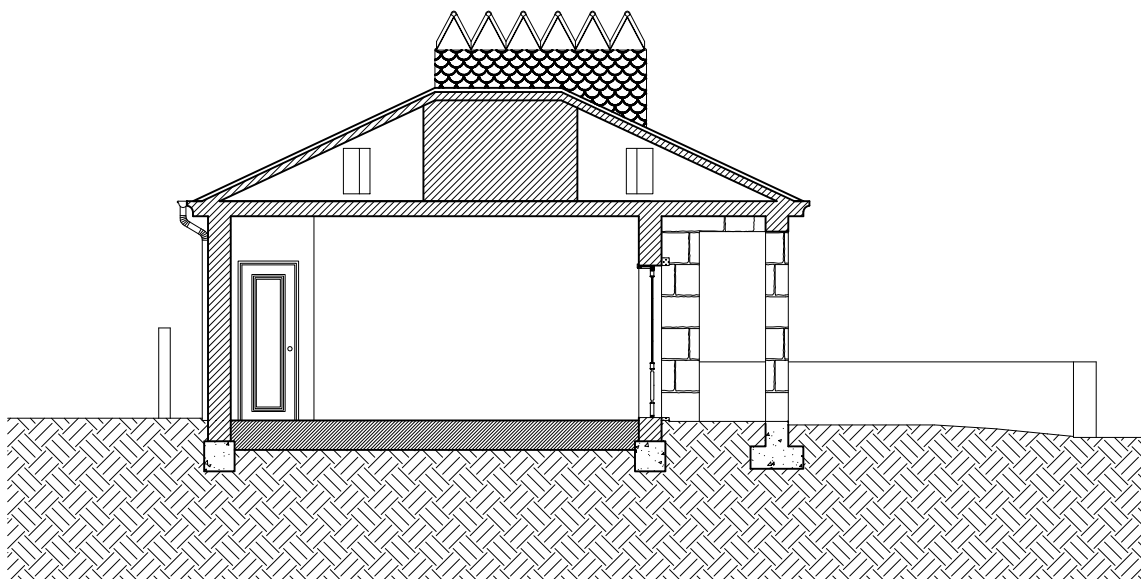
Corte BB



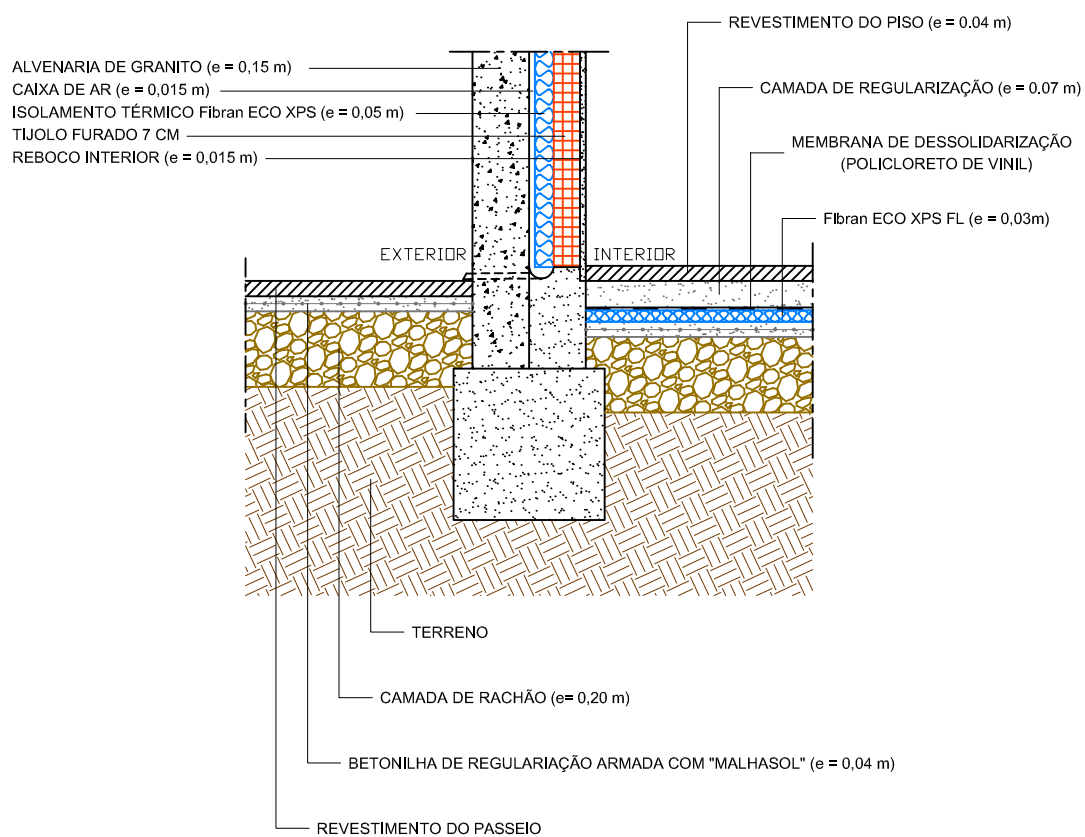
A.2. EXEMPLO REAL 1 – DESENHOS



Corte A-A'
Esc.: 1/100



Corte B-B'
Esc.: 1/100



Pormenor 1: Ligação da Fachada com Pavimento em contacto com o terreno
Esc.: 1/20

A.3. EXEMPLO REAL 1 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – PORTUGAL

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PE1 - NO	51,57	0,49	25,27
PE1 - SO	14,58	0,49	7,14
PE1 - NE	11,61	0,49	5,69
PE1 - SE	37,68	0,49	18,46
Porta Exterior NE	2	2,9	5,80
TOTAL			62,37

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
PAV	48,8	1,2	58,56
TOTAL			58,56

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	43,8	0,45	19,71
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	37,7	0,54	20,36
Fachada com varanda	11,1	0,32	3,55
Duas paredes verticais	10,8	0,2	2,16
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	37,80	0,20	7,56
TOTAL			53,34

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	174,27
--------------	---------------

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
			TOTAL	0,00

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
			TOTAL	0,00

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Tecto - Cobertura	101,6	0,21	0,8	17,07
			TOTAL	17,07

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
			TOTAL	0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
não se aplica				0,00
			TOTAL	0,00

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	17,07
--------------	--------------

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FCIV.1c
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Verticais:			0,00
Ja1	0,7	2,2	1,54
Ja2	2	2,2	4,40
Ja3	2	2,2	4,40
Ja4	0,7	2,2	1,54
Ja5	2	2,2	4,40
JaPor1	2,05	2,8	5,74
JaPor2	2,05	2,8	5,74
Porta Env Entrada	4,1	2,8	11,48
		TOTAL	39,24

Folha de Cálculo FC IV.1d
Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		101,6	(m ²)
Pé-direito médio		2,7	(m)
		=	
Volume interior (V)		274,32	(m ³)

VENTILAÇÃO NATURAL *(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)*

Cumpre a NP 1037-1? (S ou N) se SIM: RPH =

Se NÃO:

Classe da Caixilharia (s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text" value="s/c"/>	Taxa de Renovação Nominal: Ver Quadro IV.1 RPH = <input type="text" value="0,9"/>
Caixas de Estore (S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Classe de Exposição (1, 2, 3 ou 4) <i>(Ver Quadro IV.2)</i>	<input type="text" value="2"/>	
Aberturas Auto-reguladas? (S ou N)	<input type="text" value="S"/>	
Área de envidraçados > 15% Ap? (S ou N)	<input type="text" value="S"/>	
Portas Exteriores bem vedadas? (S ou N)	<input type="text" value="S"/>	

VENTILAÇÃO MECÂNICA *(excluir exaustor da cozinha)*

Caudal de Insuflação	Vins - (m ³ /h)	<input type="text"/>	Vf = <input type="text" value="0,00"/>
Caudal Extraído	Vev - (m ³ /h)	<input type="text"/>	
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	<input type="text" value="0,00"/>	V = <input type="text" value="0"/> (volume int) RPH (**)
Infiltrações <i>(Vent. Natural)</i>	Vx - (h ⁻¹)	<input type="text"/>	
Recuperador de calor	(S ou N)	<input type="text"/>	se SIM, η = <input type="text"/> se NÃO, η = <input type="text" value="0"/>
Taxa de Renovação Nominal (mínimo: 0,6)		<input type="text" value="0,000"/>	(Vf / V + Vx) · (1 - η)
Consumo de Electricidade para os ventiladores		<input type="text"/>	(Ev = Pvx24x0,03xM(kWh))

Volume	<input type="text" value="274,32"/>	
	x	
Taxa de Renovação Nominal	<input type="text" value="0,900"/>	
	x	
	<input type="text" value="0,34"/>	
	=	
TOTAL	<input type="text" value="83,94"/>	(W/°C)

Folha de Cálculo FC IV.1e
Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m²)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m²)
Ja1 - NE	duplo	0,7	0,33	0,63	0,82	0,7	0,9	0,08
Ja2 - SE	duplo	2	0,84	0,63	0,82	0,7	0,9	0,55
Ja3 - SE	duplo	2	0,84	0,63	0,89	0,7	0,9	0,59
Ja4 - SE	duplo	0,7	0,84	0,63	0,91	0,7	0,9	0,21
Ja5 - SE	duplo	2	0,84	0,63	0,74	0,7	0,9	0,49
JaPor1 - SE	duplo	2,05	0,84	0,63	0,44	0,6	0,9	0,26
JaPor2 - SE	duplo	2,05	0,84	0,63	0,5	0,6	0,9	0,29
Porta Env Entrada - SE	duplo	4,1	0,84	0,63	0,48	0,6	0,9	0,56

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m²)	3,03
	x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul) na zona 12 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m².mês)	93
	x
Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses)	7
	=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)	1975,30

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	4	(W/m²)
	x	
Duração da Estação de Aquecimento	7,00	(meses)
	x	
Área Útil de pavimento	101,60	(m²)
	x	
	0,72	
	=	
Ganhos Internos Brutos	2048,26	(kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$	4023,56
	13209,69
Inércia do edifício: 3 a = 4,2 $\gamma = 0,30$ (In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)	
Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos (η)	1,00
	x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos	4023,56
	=
Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)	4004,53

Folha de Cálculo FC IV.1f
Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m ²
Paredes exteriores		117,44
Coberturas exteriores		0
Pavimentos exteriores		0
Envidraçados exteriores		15,6
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)	
Paredes interiores		0
Coberturas interiores		81,28
Pavimentos interiores		0
Envidraçados interiores		0
Área total:		214,32
		/
Volume (de FCIV.1d):		274,32
		=
FF		0,78

Graus-dias no local (°C.dia) (do Quadro III.1) 1750

		Auxiliar
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	73,625
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1	91,838
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5	95,855
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	124,538

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano) 91,84

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	174,27
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	17,07
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	39,24
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	83,94

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	314,52
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1750,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	13209,69
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	4004,53
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	9205,15
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	101,60
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	90,60
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	91,84

Verifica O.K.

Nic/Ni = 98,65%

A.4. EXEMPLO REAL 1 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – ESPANHA

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PE1 - NO	51,57	0,49	25,27
PE1 - SO	14,58	0,49	7,14
PE1 - NE	11,61	0,49	5,69
PE1 - SE	37,68	0,49	18,46
Porta Exterior NE	2	2,9	5,80
TOTAL			62,37

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PAV	101,6	0,617	62,69
TOTAL			62,69

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	43,8	0,45	19,71
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	37,7	0,54	20,36
Fachada com varanda	11,1	0,32	3,55
Duas paredes verticais	10,8	0,2	2,16
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	37,80	0,20	7,56
TOTAL			53,34

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	178,39
--------------	---------------

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Tecto - Cobertura	101,6	0,21	0,8	17,07
TOTAL				17,07

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	17,07
--------------	--------------

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	178,39
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	17,07
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	39,24
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	83,94

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	318,64
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1750,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	13383,03
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	4005,45
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	9377,58
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	101,60
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	92,30
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	91,84

Não verifica

K.O.

Nic/Ni = 100,50%

A.5. EXEMPLO REAL 1 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – FRANÇA

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PE1 - NO	51,57	0,49	25,27
PE1 - SO	14,58	0,49	7,14
PE1 - NE	11,61	0,49	5,69
PE1 - SE	37,68	0,49	18,46
Porta Exterior NE	2	2,9	5,80
TOTAL			62,37

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PAV	101,6	0,431	43,79
TOTAL			43,79

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	43,8	0,45	19,71
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	37,7	0,54	20,36
Fachada com varanda	11,1	0,32	3,55
Duas paredes verticais	10,8	0,2	2,16
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	37,80	0,20	7,56
TOTAL			53,34

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	159,50
--------------	---------------

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
			TOTAL	0,00

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
			TOTAL	0,00

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Tecto - Cobertura	101,6	0,21	0,8	17,07
			TOTAL	17,07

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
			TOTAL	0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
não se aplica				0,00
			TOTAL	0,00

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	17,07
--------------	--------------

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	159,50
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	17,07
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	39,24
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	83,94

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	299,75
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1750,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	12589,33
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	4000,76
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	8588,57
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	101,60
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	84,53
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	91,84

Verifica O.K.

Nic/Ni = 92,05%

A.6. EXEMPLO REAL 1 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – ISO 13370

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PE1 - NO	51,57	0,49	25,27
PE1 - SO	14,58	0,49	7,14
PE1 - NE	11,61	0,49	5,69
PE1 - SE	37,68	0,49	18,46
Porta Exterior NE	2	2,9	5,80
TOTAL			62,37

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PAV	101,6	0,431	43,79
TOTAL			43,79

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	43,8	0,45	19,71
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	37,7	0,54	20,36
Fachada com varanda	11,1	0,32	3,55
Duas paredes verticais	10,8	0,2	2,16
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	37,80	0,20	7,56
TOTAL			53,34

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	159,50
--------------	---------------

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
			TOTAL	0,00

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
			TOTAL	0,00

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Tecto - Cobertura	101,6	0,21	0,8	17,07
			TOTAL	17,07

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
			TOTAL	0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
não se aplica				0,00
			TOTAL	0,00

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	17,07
--------------	--------------

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	159,50
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	17,07
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	39,24
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	83,94

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	299,75
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1750,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	12589,33
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	4000,76
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	8588,57
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	101,60
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	84,53
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	91,84

Verifica O.K.

Nic/Ni = 92,05%

A.7. EXEMPLO REAL 1 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – MÉTODO PROPOSTO

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PE1 - NO	51,57	0,49	25,27
PE1 - SO	14,58	0,49	7,14
PE1 - NE	11,61	0,49	5,69
PE1 - SE	37,68	0,49	18,46
Porta Exterior NE	2	2,9	5,80
TOTAL			62,37

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PAV	101,6	0,425	43,18
TOTAL			43,18

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	43,8	0,45	19,71
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	37,7	0,54	20,36
Fachada com varanda	11,1	0,32	3,55
Duas paredes verticais	10,8	0,2	2,16
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	37,80	0,20	7,56
TOTAL			53,34

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	158,89
--------------	---------------

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PE1 - NO	51,57	0,49	25,27
PE1 - SO	14,58	0,49	7,14
PE1 - NE	11,61	0,49	5,69
PE1 - SE	37,68	0,49	18,46
Porta Exterior NE	2	2,9	5,80
TOTAL			62,37

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PAV	101,6	0,425	43,18
TOTAL			43,18

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	43,8	0,45	19,71
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	37,7	0,54	20,36
Fachada com varanda	11,1	0,32	3,55
Duas paredes verticais	10,8	0,2	2,16
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	37,80	0,20	7,56
TOTAL			53,34

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	158,89
--------------	---------------

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

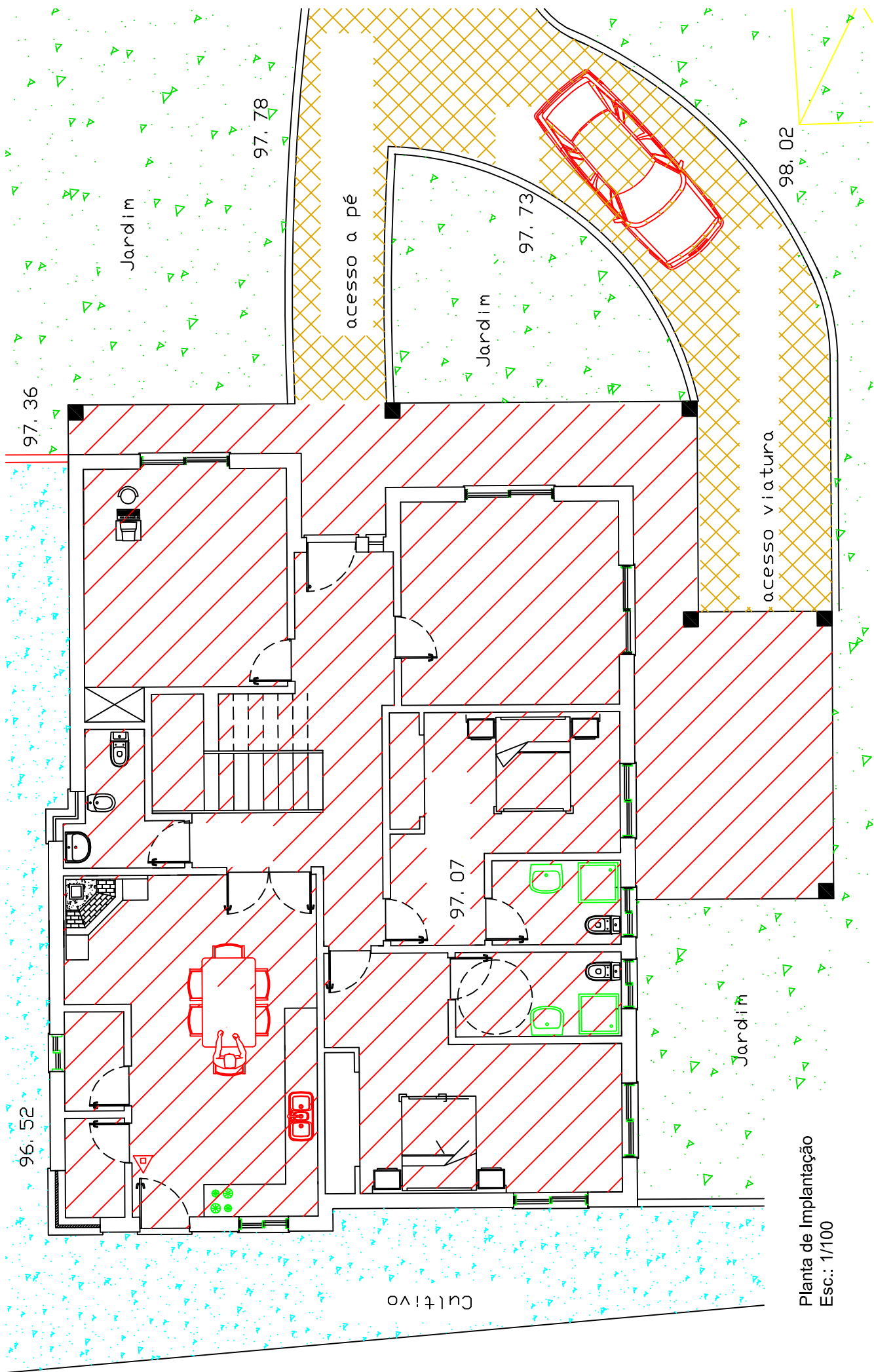
Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	158,89
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	17,07
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	39,24
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	83,94

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	299,14
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1750,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	12563,73
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	4000,59
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	8563,14
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	101,60
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	84,28
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	91,84

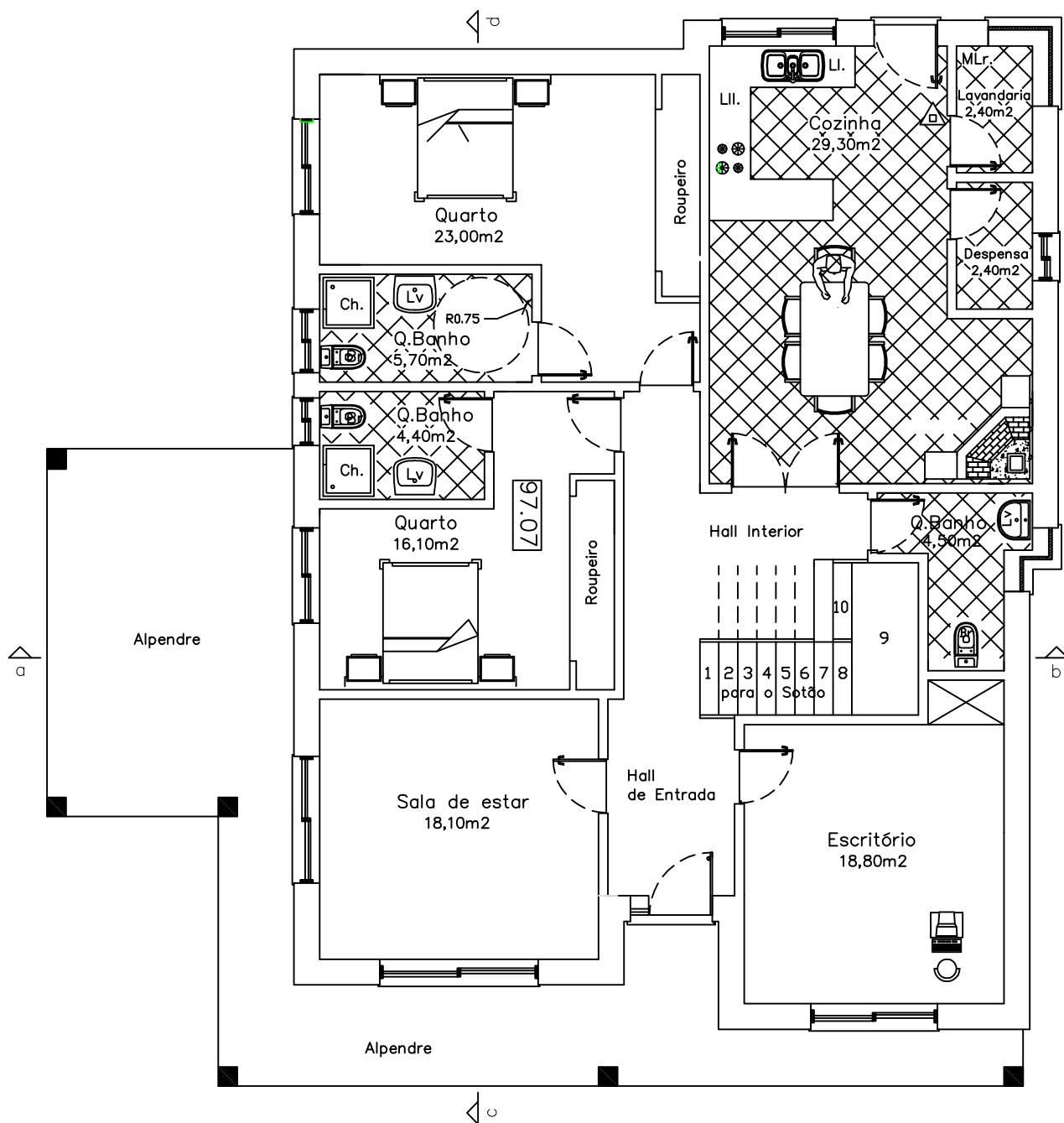
Verifica O.K.

Nic/Ni = 91,77%

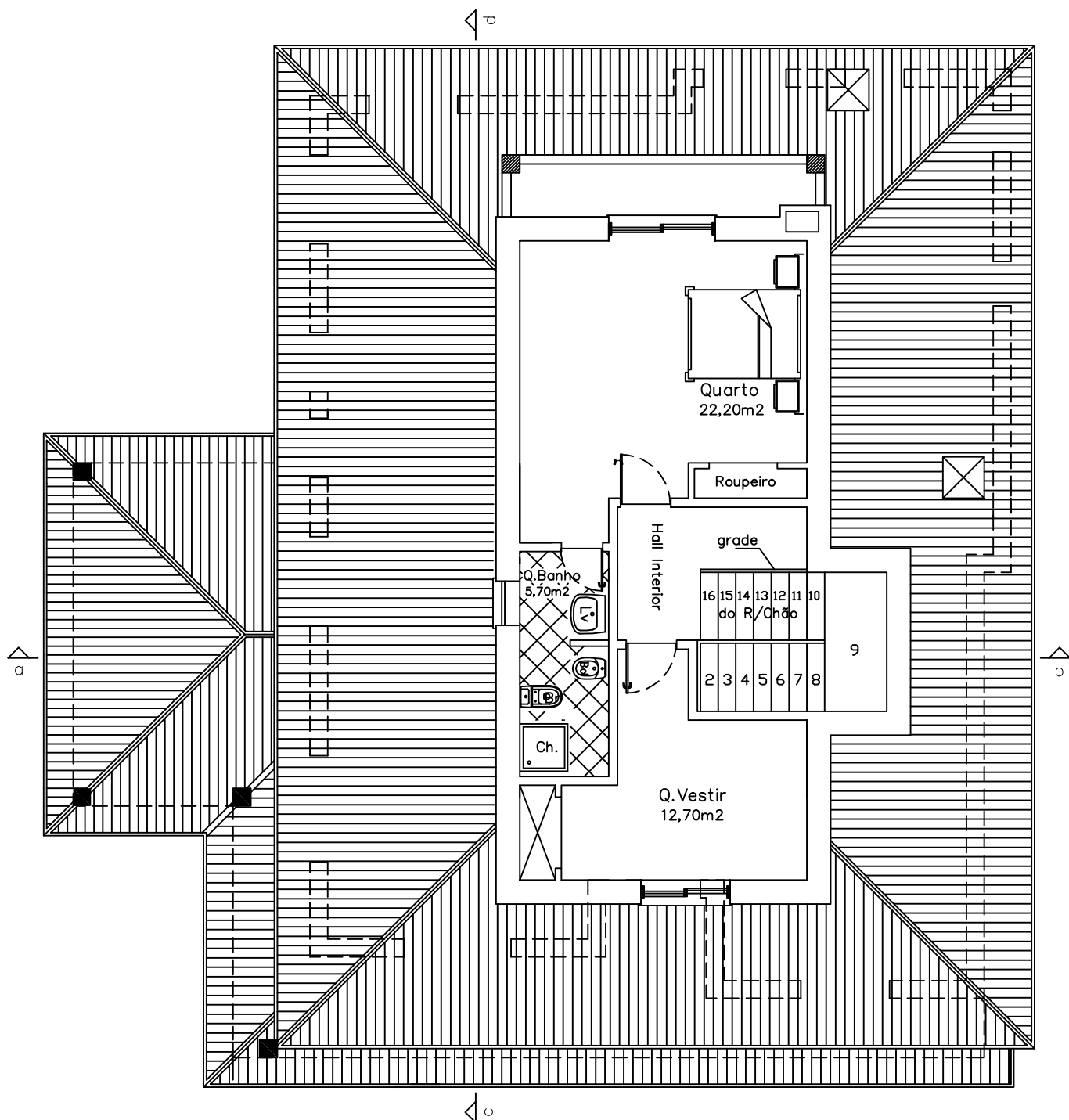
A.8. EXEMPLO REAL 2 – DESENHOS



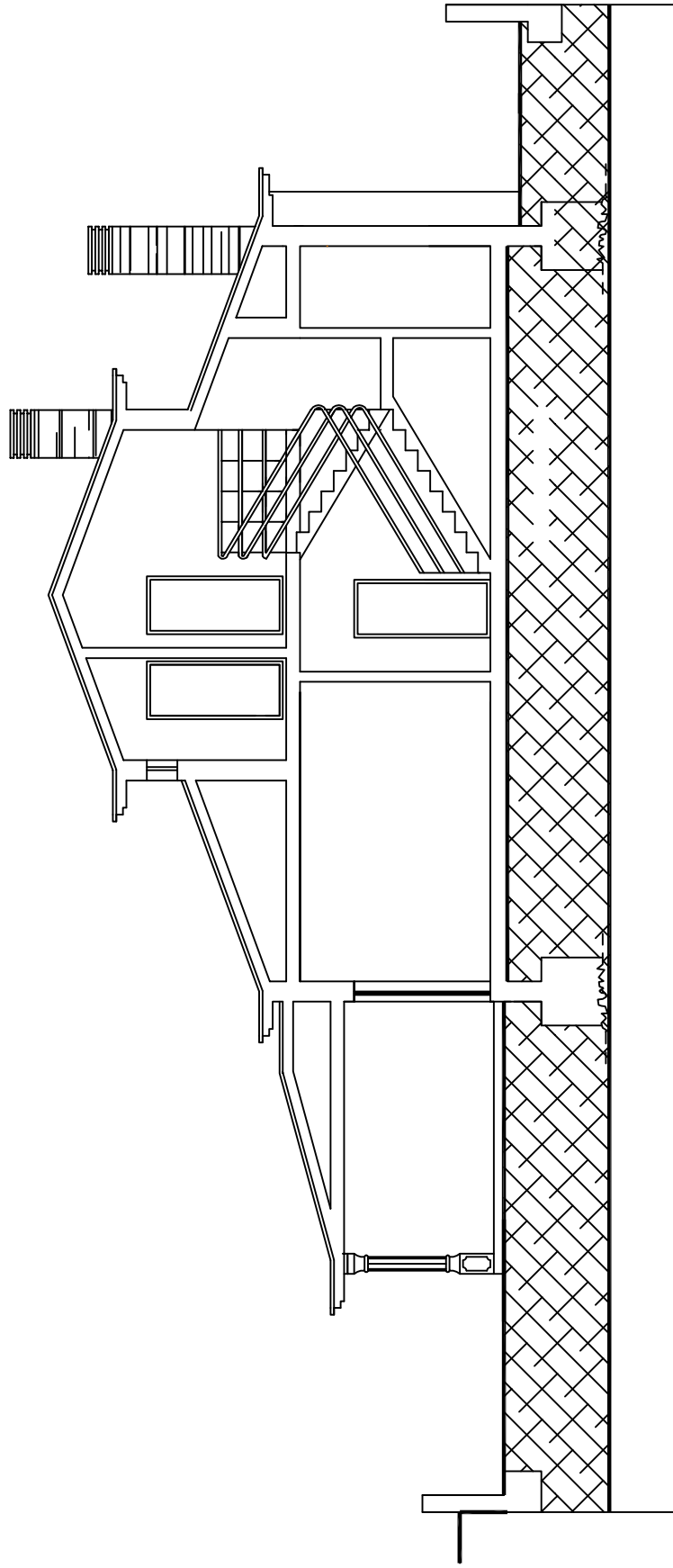
Planta de Implantação
Esc.: 1/100



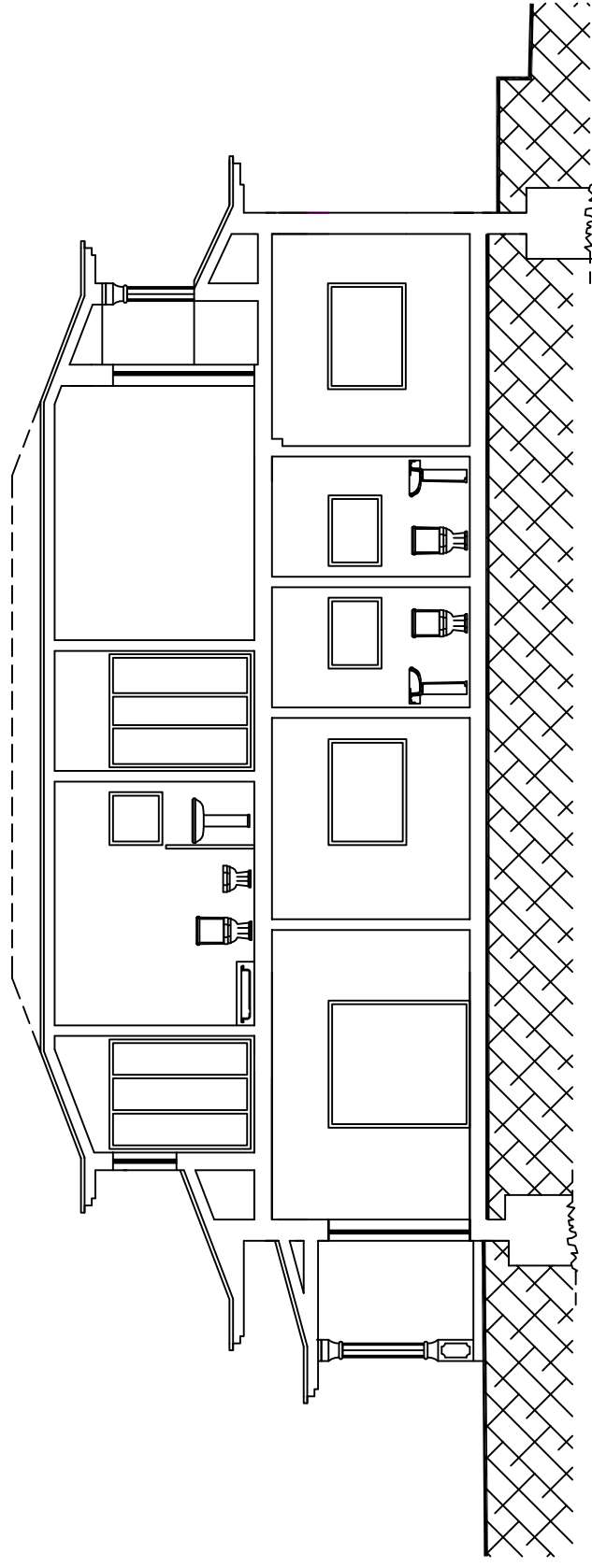
Planta do R/C
Esc.: 1/100



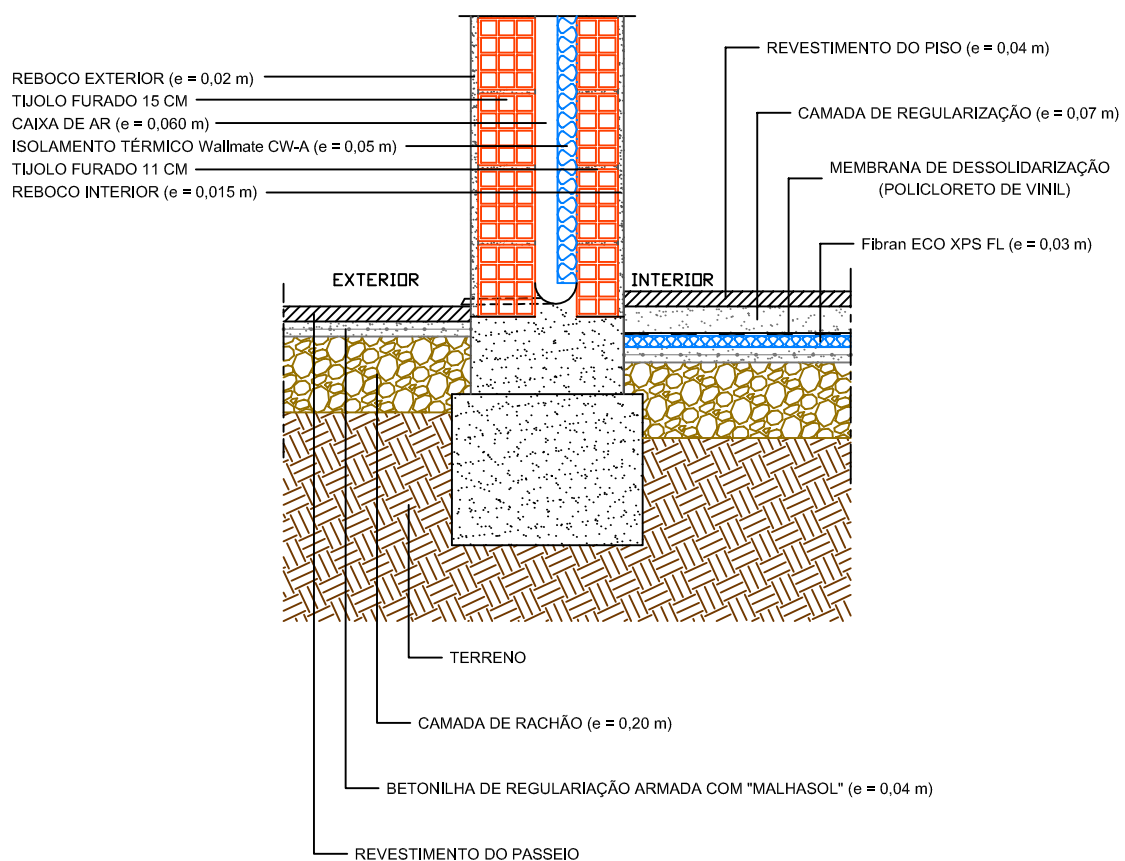
Planta do Andar
Esc.: 1/100



Corte a/b
Esc.: 1/100



Corte c/d
Esc.: 1/100



Pormenor 1: Ligação da Fachada com Pavimento em contacto com o terreno
Esc.: 1/20

A.9. EXEMPLO REAL 2 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – PORTUGAL

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PE1 SO Piso 2	9,59	0,406	3,89
PE3 SO Piso 2	1,16	0,71	0,82
PE1 SE Piso 2	5,02	0,406	2,04
PE3 SE Piso 2	0,52	0,71	0,37
PE1 NE Piso 2	8,18	0,406	3,32
PE3 NE Piso 2	0,89	0,71	0,63
PE1 NO Piso 2	8,56	0,406	3,48
PE1 SO Piso 1	29,26	0,406	11,88
PE4 SO Piso 1	3,66	0,767	2,81
PE1 SE Piso 1	12,63	0,406	5,13
Porta SE Piso 1	2	1,41	2,82
PE4 SE Piso 1	0,5	0,767	0,38
PE1 NE Piso 1	32,7	0,406	13,28
PE4 NE Piso 1	4,2	0,767	3,22
PE1 NO Piso 1	21,97	0,406	8,92
Porta NO Piso 1	2	1,41	2,82
PE4 NO Piso 1	3,11	0,767	2,39
TOTAL			68,19

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Laje de esteira (LE1)	52,64	0,41	21,58
PAV1	4,45	0,742	3,30
TOTAL			24,88

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
PAV0	54,7	1,8	98,46
TOTAL			98,46

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	54,7	0,45	24,62
Fachada com varanda	18,93	0,5	9,47
Duas paredes verticais	29,24	0,2	5,85
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	77,85	0,00	0,00
Outras			
Laje de esteira com laje de esteira	17,32	0,50	8,66
Fachada com laje de esteira	30,5	0,5	15,25
TOTAL			63,84

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	255,38
--------------	---------------

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Parede andar SO - LNA1	12,38	0,391	0,6	2,90
Parede andar SO - LNA2	1,05	0,391	0,8	0,33
Parede andar SO - LNA4	0,66	0,391	0,8	0,21
Parede andar SE - LNA2	4,05	0,391	0,8	1,27
Parede andar SE - LNA3	1,48	0,391	0,6	0,35
Parede andar NE - LNA2	0,57	0,391	0,8	0,18
Parede andar NE - LNA3	11,22	0,391	0,6	2,63
Parede andar NO - LNA5	0,84	0,77	1	0,65
TOTAL				8,51

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
PAV2 - LNA1	34,82	0,313	0,6	6,54
PAV2 - LNA2	2,74	0,313	0,8	0,69
PAV3 - LNA2	4,93	0,326	0,8	1,29
PAV2 - LNA3	17,56	0,313	0,6	3,30
PAV3 - LNA3	10,08	0,326	0,6	1,97
PAV2 - LNA4	11,49	0,313	0,8	2,88
TOTAL				16,66

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
Fachada com laje sob local não aquecido	11,3	0,5	0,8	4,52
TOTAL				4,52

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL 29,69

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FCIV.1c
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Verticais:			0,00
Env. 01	1,65	2,8	2,10
Env. 02	0,75	2,8	1,57
Env. 03	0,56	2,8	4,62
Env. 04	1,65	2,8	11,20
Env. 05	4	2,8	14,00
Env. 06	5	2,8	1,71
Env. 07	0,61	2,8	11,48
Env. 08	4,1	2,8	1,68
Env. 09	0,6	1,8	1,80
Env. 10	1	1,8	1,80
Env. 11	1	1,8	1,01
Env. 12	0,56	2,8	3,86
Env. 13	1,38	1,8	2,05
Env. 14	1,14	1,8	3,56
Env. 15	1,98	2,8	1,26
Env. 16	0,45	2,8	3,92
Env. 17	1,4	2,8	3,92
Env. 18	3,42	2,8	9,58
		TOTAL	81,12

Folha de Cálculo FC IV.1d
Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		<input type="text" value="199,6"/>	(m ²)
Pé-direito médio		<input type="text" value="2,8"/>	(m)
		=	
Volume interior	(V)	<input type="text" value="558,88"/>	(m ³)

VENTILAÇÃO NATURAL *(Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)*

Cumprir a NP 1037-1? (S ou N) se SIM: RPH =

Se NÃO:

Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text" value="s/c"/>	<div>Taxa de Renovação Nominal: Ver Quadro IV.1</div> <div>RPH= <input type="text" value="0,9"/></div>
Caixas de Estore	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)	<input type="text" value="2"/>	
<i>(Ver Quadro IV.2)</i>			
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	
Área de envidraçados > 15% Ap?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	

VENTILAÇÃO MECÂNICA *(excluir exaustor da cozinha)*

Caudal de Insuflação	Vins - (m ³ /h)	<input type="text"/>	Vf = <input type="text" value="0,00"/>
Caudal Extraído	Vev - (m ³ /h)	<input type="text"/>	
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	<input type="text" value="0,00"/>	/
Infiltrações <i>(Vent. Natural)</i>	Vx - (h ⁻¹)	<input type="text"/>	<div>V = <input type="text" value="0"/></div> <div>(volume int) RPH (**)</div>
Recuperador de calor	(S ou N)	<input type="text"/>	<div>se SIM, η = <input type="text"/></div> <div>se NÃO, η = <input type="text" value="0"/></div>
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	<input type="text" value="0,000"/>	(Vf / V + Vx) · (1 - η)
Consumo de Electricidade para os ventiladores		<input type="text"/>	(Ev = Pvx24x0,03xM(kWh))

Volume	<input type="text" value="558,88"/>	
	x	
Taxa de Renovação Nominal	<input type="text" value="0,900"/>	
	x	
	<input type="text" value="0,34"/>	
	=	
TOTAL	<input type="text" value="171,02"/>	(W/°C)

Folha de Cálculo FC IV.1e
Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m ²)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m ²)
Env. 01 - SO	duplo	1,65	0,84	0,63	0,79	0,7	0,9	0,43
Env. 02 - SO	duplo	0,75	0,84	0,63	0,77	0,7	0,9	0,19
Env. 03 - SO	duplo	0,56	0,84	0,63	0,44	0,7	0,9	0,08
Env. 04 - SO	duplo	1,65	0,84	0,63	0,45	0,7	0,9	0,25
Env. 05 - SO	duplo	4	0,84	0,63	0,45	0,7	0,9	0,60
Env. 06 - SE	duplo	5	0,84	0,63	0,49	0,7	0,9	0,82
Env. 07 - SE	duplo	0,61	0,84	0,63	0,41	0,7	0,9	0,08
Env. 08 - SE	duplo	4,1	0,84	0,63	0,59	0,7	0,9	0,81
Env. 09 - SE	simples	0,6	0,84	0,57	0,45	0,65	0,9	0,08
Env. 10 - NE	simples	1	0,33	0,57	0,96	0,65	0,9	0,11
Env. 11 - NE	simples	1	0,33	0,57	0,98	0,65	0,9	0,11
Env. 12 - NE	duplo	0,56	0,33	0,63	0,98	0,7	0,9	0,07
Env. 13 - NE	simples	1,38	0,33	0,57	0,98	0,65	0,9	0,15
Env. 14 - NO	simples	1,14	0,33	0,57	0,93	0,65	0,9	0,12
Env. 15 - NO	duplo	1,98	0,33	0,63	0,94	0,7	0,9	0,24
Env. 16 - SO	duplo	0,45	0,84	0,63	0,64	0,7	0,9	0,10
Env. 17 - SE	duplo	1,4	0,84	0,63	0,74	0,7	0,9	0,35
Env. 18 - NO	duplo	3,42	0,33	0,63	0,85	0,7	0,9	0,38

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m ²)	4,96
	x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (G _{sul}) na zona 12 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m ² .mês)	93
	x
Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses)	7
	=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)	3226,37

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	4	(W/m ²)
	x	
Duração da Estação de Aquecimento	7,00	(meses)
	x	
Área Útil de pavimento	199,60	(m ²)
	x	
	0,72	
	=	
Ganhos Internos Brutos	4023,94	(kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$	$\frac{7250,30}{22562,60}$
Inércia do edifício: 3 a = 4,2 $\gamma = 0,32$ (In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)	
Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos (η)	0,99
	x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos	7250,30
	=
Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)	7208,38

Folha de Cálculo FC IV.1f
Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m ²
Paredes exteriores		145,95
Coberturas exteriores		57,09
Pavimentos exteriores		0
Envidraçados exteriores		31,25
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)	
Paredes interiores		20,952
Coberturas interiores		52,804
Pavimentos interiores		0
Envidraçados interiores		0
Área total:		308,05
Volume (de FCIV.1d):		/
		558,88
		=
FF		0,55

Graus-dias no local (°C.dia) (do Quadro III.1) 1750

Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	Auxiliar 73,625
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1	76,939
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5	83,845
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	124,538

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano) 76,94

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	255,38
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	29,69
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	81,12
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	171,02

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	537,20
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1750,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	22562,60
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	7208,38
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	15354,22
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	199,60
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	76,92
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	76,94

Verifica O.K.

Nic/Ni = 99,98%

A.10. EXEMPLO REAL 2 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – ESPANHA

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PE1 SO Piso 2	9,59	0,406	3,89
PE3 SO Piso 2	1,16	0,71	0,82
PE1 SE Piso 2	5,02	0,406	2,04
PE3 SE Piso 2	0,52	0,71	0,37
PE1 NE Piso 2	8,18	0,406	3,32
PE3 NE Piso 2	0,89	0,71	0,63
PE1 NO Piso 2	8,56	0,406	3,48
PE1 SO Piso 1	29,26	0,406	11,88
PE4 SO Piso 1	3,66	0,767	2,81
PE1 SE Piso 1	12,63	0,406	5,13
Porta SE Piso 1	2	1,41	2,82
PE4 SE Piso 1	0,5	0,767	0,38
PE1 NE Piso 1	32,7	0,406	13,28
PE4 NE Piso 1	4,2	0,767	3,22
PE1 NO Piso 1	21,97	0,406	8,92
Porta NO Piso 1	2	1,41	2,82
PE4 NO Piso 1	3,11	0,767	2,39
TOTAL			68,19

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Laje de esteira (LE1)	52,64	0,41	21,58
PAV1	4,45	0,742	3,30
TOTAL			24,88

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PAV0	147,61	0,549	81,04
TOTAL			81,04

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	54,7	0,45	24,62
Fachada com varanda	18,93	0,5	9,47
Duas paredes verticais	29,24	0,2	5,85
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	77,85	0,00	0,00
Outras			
Laje de esteira com laje de esteira	17,32	0,50	8,66
Fachada com laje de esteira	30,5	0,5	15,25
TOTAL			63,84

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	237,95
--------------	---------------

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Parede andar SO - LNA1	12,38	0,391	0,6	2,90
Parede andar SO - LNA2	1,05	0,391	0,8	0,33
Parede andar SO - LNA4	0,66	0,391	0,8	0,21
Parede andar SE - LNA2	4,05	0,391	0,8	1,27
Parede andar SE - LNA3	1,48	0,391	0,6	0,35
Parede andar NE - LNA2	0,57	0,391	0,8	0,18
Parede andar NE - LNA3	11,22	0,391	0,6	2,63
Parede andar NO - LNA5	0,84	0,77	1	0,65
TOTAL				8,51

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
PAV2 - LNA1	34,82	0,313	0,6	6,54
PAV2 - LNA2	2,74	0,313	0,8	0,69
PAV3 - LNA2	4,93	0,326	0,8	1,29
PAV2 - LNA3	17,56	0,313	0,6	3,30
PAV3 - LNA3	10,08	0,326	0,6	1,97
PAV2 - LNA4	11,49	0,313	0,8	2,88
TOTAL				16,66

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
Fachada com laje sob local não aquecido	11,3	0,5	0,8	4,52
TOTAL				4,52

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL 29,69

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	237,95
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	29,69
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	81,12
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	171,02

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	519,78
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1750,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	21830,87
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	7202,89
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	14627,98
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	199,60
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	73,29
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	76,94

Verifica O.K.

Nic/Ni = 95,25%

A.11. EXEMPLO REAL 2 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – FRANÇA

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PE1 SO Piso 2	9,59	0,406	3,89
PE3 SO Piso 2	1,16	0,71	0,82
PE1 SE Piso 2	5,02	0,406	2,04
PE3 SE Piso 2	0,52	0,71	0,37
PE1 NE Piso 2	8,18	0,406	3,32
PE3 NE Piso 2	0,89	0,71	0,63
PE1 NO Piso 2	8,56	0,406	3,48
PE1 SO Piso 1	29,26	0,406	11,88
PE4 SO Piso 1	3,66	0,767	2,81
PE1 SE Piso 1	12,63	0,406	5,13
Porta SE Piso 1	2	1,41	2,82
PE4 SE Piso 1	0,5	0,767	0,38
PE1 NE Piso 1	32,7	0,406	13,28
PE4 NE Piso 1	4,2	0,767	3,22
PE1 NO Piso 1	21,97	0,406	8,92
Porta NO Piso 1	2	1,41	2,82
PE4 NO Piso 1	3,11	0,767	2,39
TOTAL			68,19

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Laje de esteira (LE1)	52,64	0,41	21,58
PAV1	4,45	0,742	3,30
TOTAL			24,88

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PAV0	147,61	0,383	56,53
TOTAL			56,53

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	54,7	0,45	24,62
Fachada com varanda	18,93	0,5	9,47
Duas paredes verticais	29,24	0,2	5,85
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	77,85	0,00	0,00
Outras			
Laje de esteira com laje de esteira	17,32	0,50	8,66
Fachada com laje de esteira	30,5	0,5	15,25
TOTAL			63,84

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	213,45
--------------	---------------

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Parede andar SO - LNA1	12,38	0,391	0,6	2,90
Parede andar SO - LNA2	1,05	0,391	0,8	0,33
Parede andar SO - LNA4	0,66	0,391	0,8	0,21
Parede andar SE - LNA2	4,05	0,391	0,8	1,27
Parede andar SE - LNA3	1,48	0,391	0,6	0,35
Parede andar NE - LNA2	0,57	0,391	0,8	0,18
Parede andar NE - LNA3	11,22	0,391	0,6	2,63
Parede andar NO - LNA5	0,84	0,77	1	0,65
TOTAL				8,51

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
PAV2 - LNA1	34,82	0,313	0,6	6,54
PAV2 - LNA2	2,74	0,313	0,8	0,69
PAV3 - LNA2	4,93	0,326	0,8	1,29
PAV2 - LNA3	17,56	0,313	0,6	3,30
PAV3 - LNA3	10,08	0,326	0,6	1,97
PAV2 - LNA4	11,49	0,313	0,8	2,88
TOTAL				16,66

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
Fachada com laje sob local não aquecido	11,3	0,5	0,8	4,52
TOTAL				4,52

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL 29,69

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	213,45
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	29,69
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	81,12
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	171,02

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	495,28
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1750,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	20801,73
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	7193,61
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	13608,13
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	199,60
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	68,18
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	76,94

Verifica O.K.

Nic/Ni = 88,61%

A.12. EXEMPLO REAL 2 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – ISO 13370

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PE1 SO Piso 2	9,59	0,406	3,89
PE3 SO Piso 2	1,16	0,71	0,82
PE1 SE Piso 2	5,02	0,406	2,04
PE3 SE Piso 2	0,52	0,71	0,37
PE1 NE Piso 2	8,18	0,406	3,32
PE3 NE Piso 2	0,89	0,71	0,63
PE1 NO Piso 2	8,56	0,406	3,48
PE1 SO Piso 1	29,26	0,406	11,88
PE4 SO Piso 1	3,66	0,767	2,81
PE1 SE Piso 1	12,63	0,406	5,13
Porta SE Piso 1	2	1,41	2,82
PE4 SE Piso 1	0,5	0,767	0,38
PE1 NE Piso 1	32,7	0,406	13,28
PE4 NE Piso 1	4,2	0,767	3,22
PE1 NO Piso 1	21,97	0,406	8,92
Porta NO Piso 1	2	1,41	2,82
PE4 NO Piso 1	3,11	0,767	2,39
TOTAL			68,19

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Laje de esteira (LE1)	52,64	0,41	21,58
PAV1	4,45	0,742	3,30
TOTAL			24,88

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PAV0	147,61	0,383	56,53
TOTAL			56,53

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	54,7	0,45	24,62
Fachada com varanda	18,93	0,5	9,47
Duas paredes verticais	29,24	0,2	5,85
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	77,85	0,00	0,00
Outras			
Laje de esteira com laje de esteira	17,32	0,50	8,66
Fachada com laje de esteira	30,5	0,5	15,25
TOTAL			63,84

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	213,45
--------------	---------------

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Parede andar SO - LNA1	12,38	0,391	0,6	2,90
Parede andar SO - LNA2	1,05	0,391	0,8	0,33
Parede andar SO - LNA4	0,66	0,391	0,8	0,21
Parede andar SE - LNA2	4,05	0,391	0,8	1,27
Parede andar SE - LNA3	1,48	0,391	0,6	0,35
Parede andar NE - LNA2	0,57	0,391	0,8	0,18
Parede andar NE - LNA3	11,22	0,391	0,6	2,63
Parede andar NO - LNA5	0,84	0,77	1	0,65
TOTAL				8,51

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
PAV2 - LNA1	34,82	0,313	0,6	6,54
PAV2 - LNA2	2,74	0,313	0,8	0,69
PAV3 - LNA2	4,93	0,326	0,8	1,29
PAV2 - LNA3	17,56	0,313	0,6	3,30
PAV3 - LNA3	10,08	0,326	0,6	1,97
PAV2 - LNA4	11,49	0,313	0,8	2,88
TOTAL				16,66

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
Fachada com laje sob local não aquecido	11,3	0,5	0,8	4,52
TOTAL				4,52

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL 29,69

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	213,45
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	29,69
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	81,12
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	171,02

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	495,28
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1750,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	20801,73
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	7193,61
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	13608,13
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	199,60
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	68,18
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	76,94

Verifica O.K.

Nic/Ni = 88,61%

A.13. EXEMPLO REAL 2 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – MÉTODO PROPOSTO

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PE1 SO Piso 2	9,59	0,406	3,89
PE3 SO Piso 2	1,16	0,71	0,82
PE1 SE Piso 2	5,02	0,406	2,04
PE3 SE Piso 2	0,52	0,71	0,37
PE1 NE Piso 2	8,18	0,406	3,32
PE3 NE Piso 2	0,89	0,71	0,63
PE1 NO Piso 2	8,56	0,406	3,48
PE1 SO Piso 1	29,26	0,406	11,88
PE4 SO Piso 1	3,66	0,767	2,81
PE1 SE Piso 1	12,63	0,406	5,13
Porta SE Piso 1	2	1,41	2,82
PE4 SE Piso 1	0,5	0,767	0,38
PE1 NE Piso 1	32,7	0,406	13,28
PE4 NE Piso 1	4,2	0,767	3,22
PE1 NO Piso 1	21,97	0,406	8,92
Porta NO Piso 1	2	1,41	2,82
PE4 NO Piso 1	3,11	0,767	2,39
TOTAL			68,19

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
não se aplica			0,00
TOTAL			0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Laje de esteira (LE1)	52,64	0,41	21,58
PAV1	4,45	0,742	3,30
TOTAL			24,88

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PAV0	147,61	0,39	57,57
TOTAL			57,57

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	54,7	0,45	24,62
Fachada com varanda	18,93	0,5	9,47
Duas paredes verticais	29,24	0,2	5,85
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	77,85	0,00	0,00
Outras			
Laje de esteira com laje de esteira	17,32	0,50	8,66
Fachada com laje de esteira	30,5	0,5	15,25
TOTAL			63,84

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	214,48
--------------	---------------

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Parede andar SO - LNA1	12,38	0,391	0,6	2,90
Parede andar SO - LNA2	1,05	0,391	0,8	0,33
Parede andar SO - LNA4	0,66	0,391	0,8	0,21
Parede andar SE - LNA2	4,05	0,391	0,8	1,27
Parede andar SE - LNA3	1,48	0,391	0,6	0,35
Parede andar NE - LNA2	0,57	0,391	0,8	0,18
Parede andar NE - LNA3	11,22	0,391	0,6	2,63
Parede andar NO - LNA5	0,84	0,77	1	0,65
TOTAL				8,51

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
PAV2 - LNA1	34,82	0,313	0,6	6,54
PAV2 - LNA2	2,74	0,313	0,8	0,69
PAV3 - LNA2	4,93	0,326	0,8	1,29
PAV2 - LNA3	17,56	0,313	0,6	3,30
PAV3 - LNA3	10,08	0,326	0,6	1,97
PAV2 - LNA4	11,49	0,313	0,8	2,88
TOTAL				16,66

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
Fachada com laje sob local não aquecido	11,3	0,5	0,8	4,52
TOTAL				4,52

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL 29,69

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

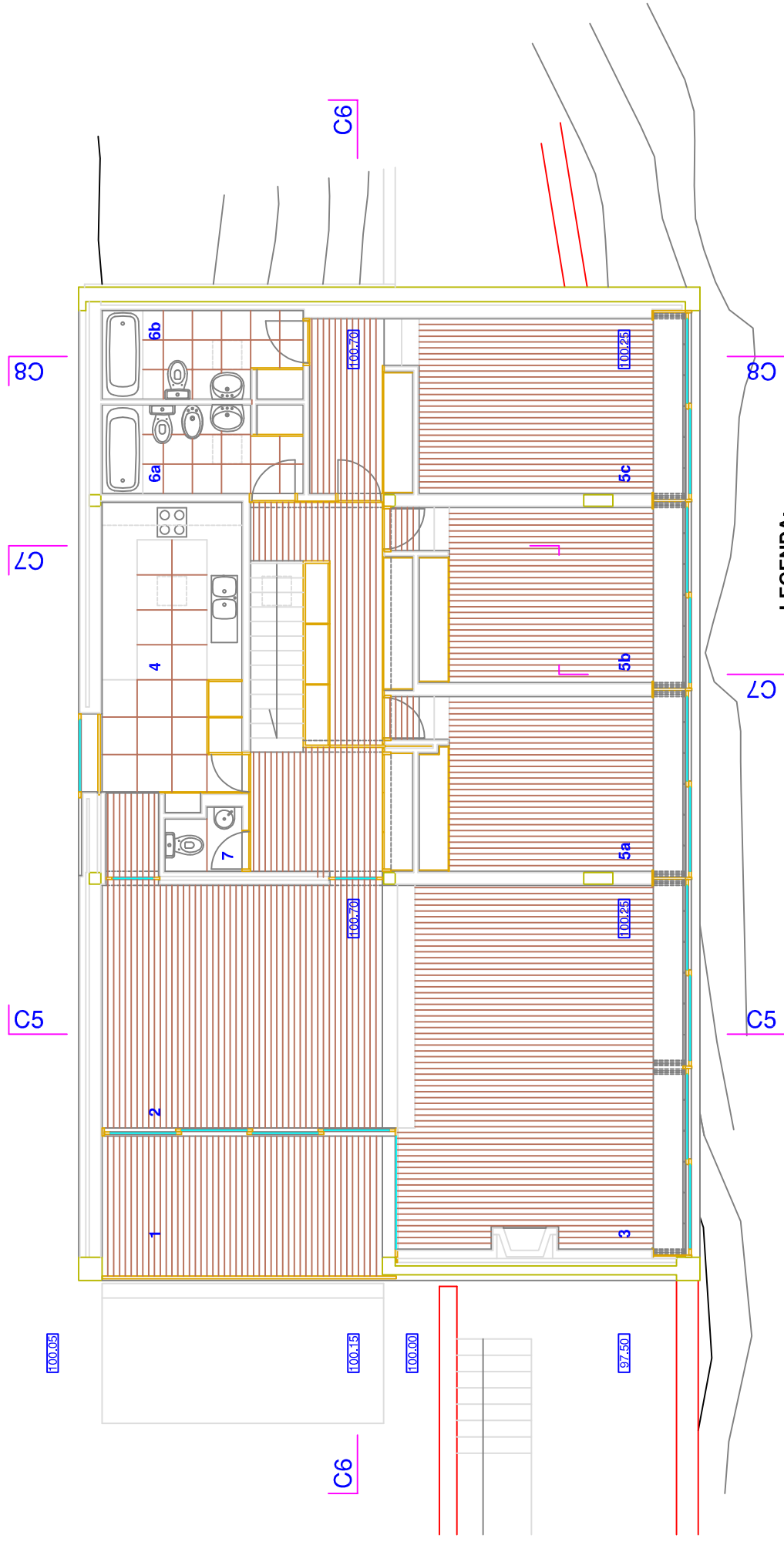
Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	214,48
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	29,69
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	81,12
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	171,02

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	496,31
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1750,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	20845,13
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	7194,04
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	13651,09
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	199,60
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	68,39
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	76,94

Verifica O.K.

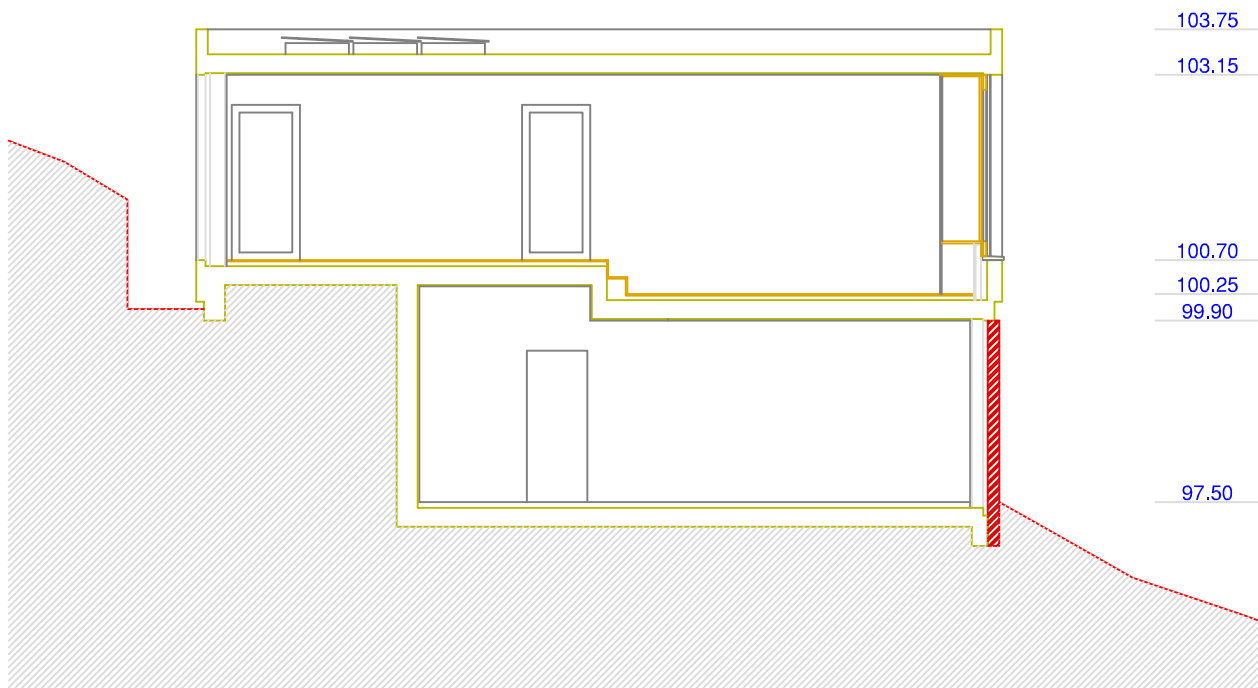
Nic/Ni = 88,89%

A.14. EXEMPLO REAL 3 – DESENHOS

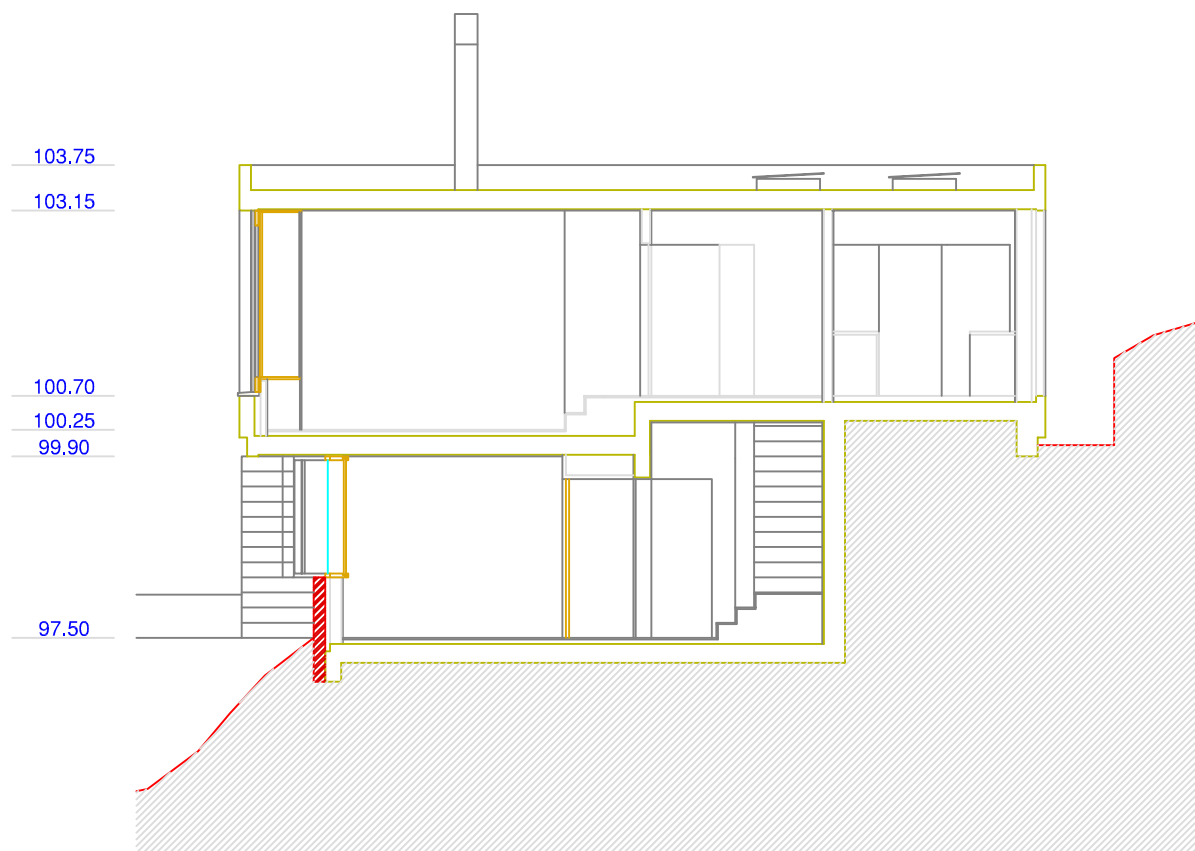


LEGENDA:

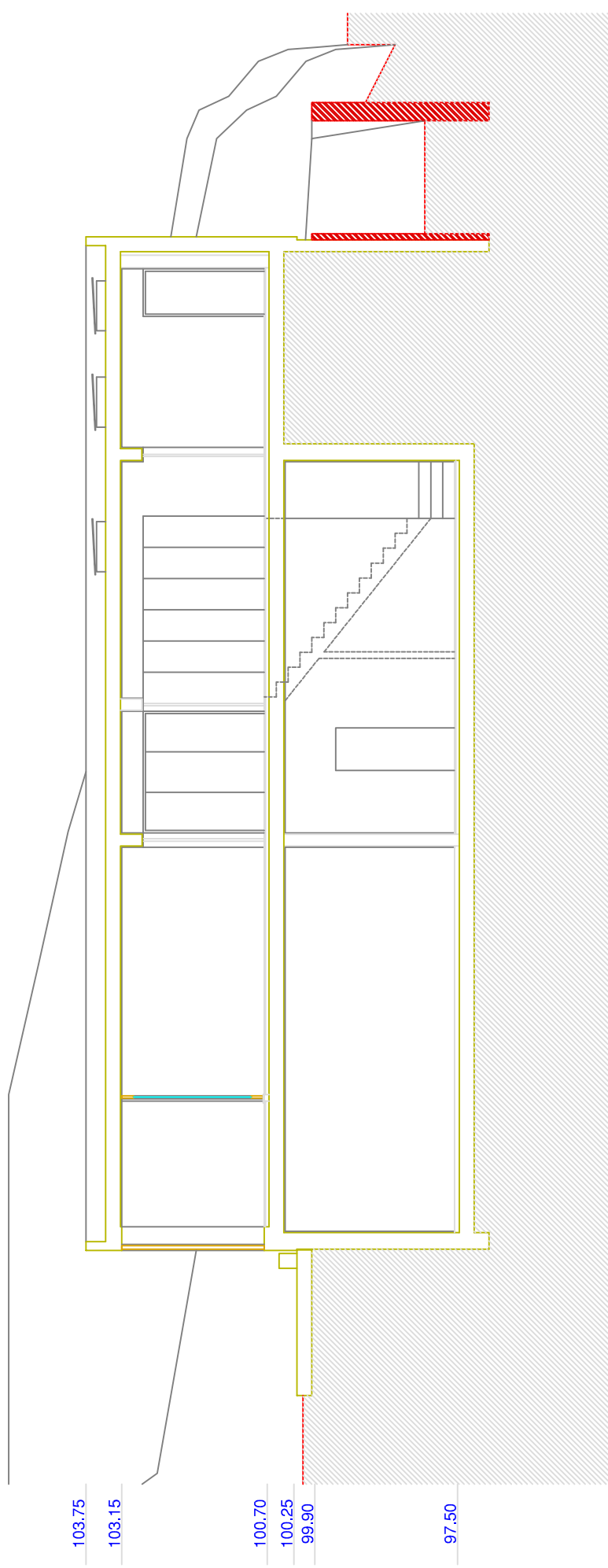
Planta do Piso 2
Esc.: 1/100



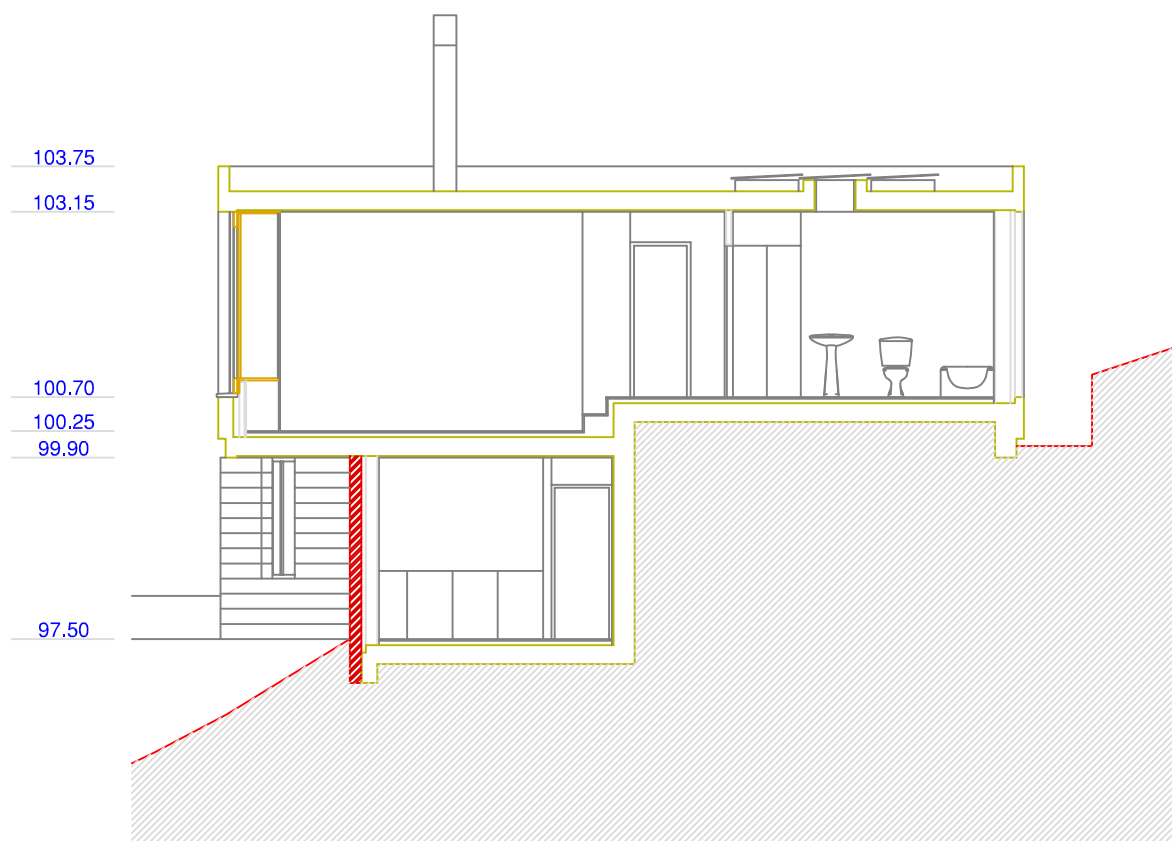
Corte C5
Esc.: 1/100



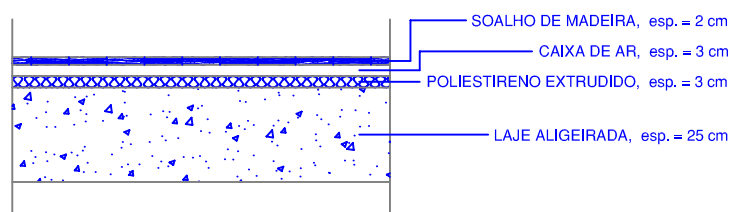
Corte C7
Esc.: 1/100



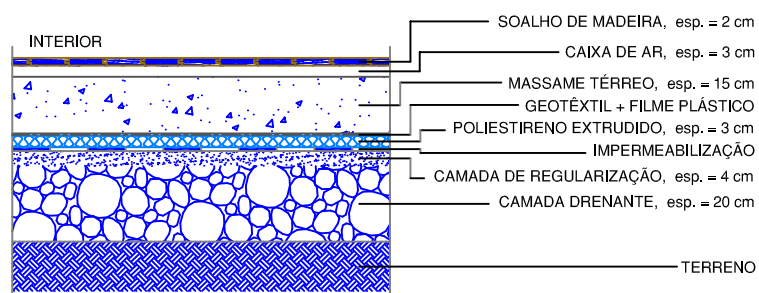
Corte C6
Esc.: 1/100



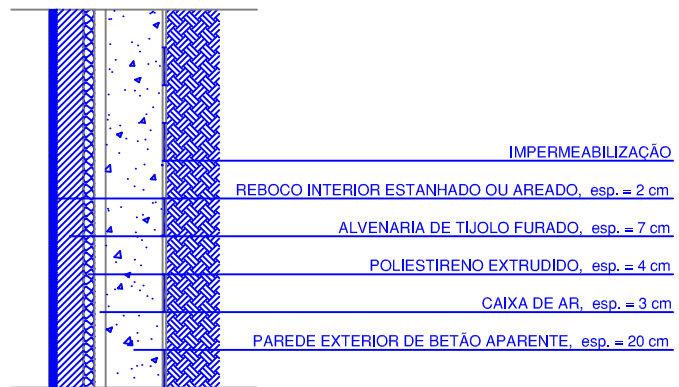
Corte C8
Esc.: 1/100



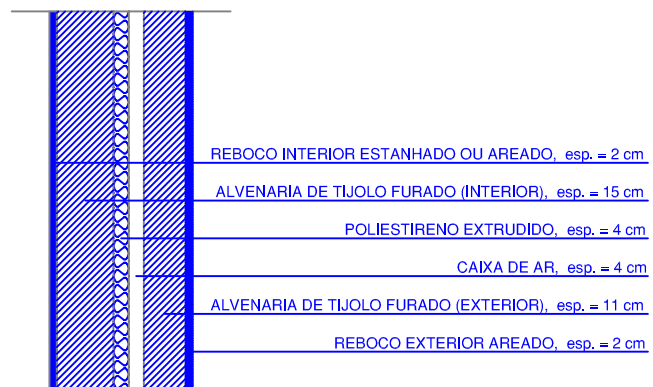
Pormenor 1: Pavimento Piso 2
Esc.: 1/20



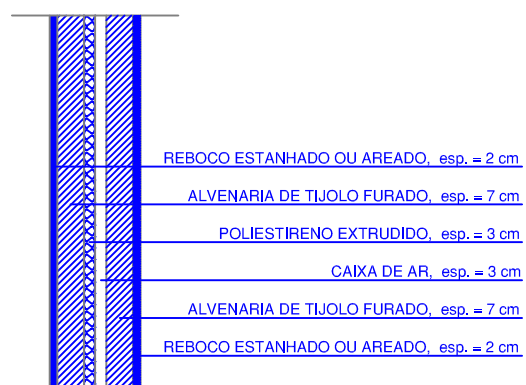
Pormenor 2: Pavimento Piso 1
Esc.: 1/20



Pormenor 3: Parede em contacto com o terreno Piso 1
Esc.: 1/20



Pormenor 4: Parede exterior poente Piso 2
Esc.: 1/20



Pormenor 5: Parede entre garagem/interior e lavandaria/interior
Esc.: 1/20

A.15. EXEMPLO REAL 3 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – PORTUGAL

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envoltente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m²)	U (W/m².°C)	U.A (W/°C)
Parede Nascente (Piso 1)	10,85	0,58	6,30
Painel Madeira (Piso 1)	1,03	0,97	1,00
Parede Nascente (Piso 2)	9,30	0,72	6,70
Parede Norte (Piso 2)	25,05	0,58	14,53
Parede Poente (Piso 2)	30,09	0,47	14,14
Parede Sul (Piso 2)	13,80	0,58	8,01
TOTAL			50,67

Pavimentos Exteriores	Área (m²)	U (W/m².°C)	U.A (W/°C)
Pavimento Consola Quartos	6,19	0,63	3,90
TOTAL			3,90

Coberturas Exteriores	Área (m²)	U (W/m².°C)	U.A (W/°C)
Cobertura	135,82	0,45	61,12
TOTAL			61,12

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Pavimento 1º Piso Escritório (Lado Nascente) (z=0.20)	6,32	1,8	11,38
Pavimento 1º Piso Escritório (Lado Poente e Norte) (z=2.87)	8,41	1,2	10,09
Pavimento 2º Piso Sala (Lado Sul) (z=0)	2,33	1,2	2,80
Pavimento 2º Piso (Lado Poente) (z=0.65)	13,77	1,8	24,79
Pavimento 2º Piso (Lado Norte) (z=0.65)	4,83	1,8	8,69
Parede 1º Piso (Lado Norte) (z= -2.87)	2,28	1,1	2,51
Parede 1º Piso (Lado Poente) (z= -2.87)	6,13	1,1	6,74
TOTAL			67,00

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos			
2º Piso Fachada Norte com Pavimento Térreo (z=0.70)	4,83	0,8	3,86
2º Piso Fachada Poente com Pavimento Térreo (z=0.65)	13,77	0,8	11,02
1º Piso Fachada Nascente com Pavimento Térreo (z=0.20)	6,32	0,6	3,79
Fachada com os pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores			
2º Piso Fachada Nascente com Garagem	6,41	0,7	4,49
2º Piso Fachada Sul com Garagem (zona corrente)	1,02	0,7	0,71
2º Piso Fachada Sul com Garagem (zona porta)	3,77	0,5	1,89
2º Piso Fachada Poente (alpendre) com Garagem	2,08	0,5	1,04
2º Piso Fachada Norte com Lavandaria	2,93	0,7	2,05
2º Piso Fachada Nascente com Pavimento Exterior	8,73	0,7	6,11
2º Piso Fachada Norte com Pavimento Exterior	1,42	0,7	0,99
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			
Norte	9,83	0,75	7,37
Nascente	15,00	0,75	11,25
Sul	4,76	0,75	3,57
Sul (Sala/Alpendre)	5,03	0,5	2,52
Poente (Sala/Alpendre)	1,94	0,5	0,97
Poente	13,77	0,75	10,33
Duas paredes verticais			
Fachada Poente / Fachada Norte	2,45	0,2	0,49
Fachada Norte / Fachada Nascente	2,90	0,2	0,58
Fachada Nascente / Fachada Sul	2,90	0,2	0,58
TOTAL			73,61

**Perdas pela envoltente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C) **TOTAL** 256,29

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Parede 1º Piso em contacto com a Garagem	14,15	0,60	1,00	8,49
Parede 1º Piso em contacto com a Lavandaria	6,08	0,60	0,60	2,19
Porta Escritório / Garagem	1,60	3,50	1,00	5,60
Porta Escritório / Lavandaria	1,63	3,50	0,60	3,43
Pilares Escritório Garagem	1,68	0,84	1,00	1,41
TOTAL				21,12

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Quarto com Lavandaria	9,66	0,58	0,60	3,36
Sala com Garagem	40,01	0,58	1,00	23,21
TOTAL				26,57

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
Parede separação Escritório / Garagem	5,31	0,50	1,00	2,65
Parede separação Escritório / Garagem com Parede Nascente 1º Piso	2,40	0,50	1,00	1,20
Pavimento 1º Piso Escritório (Lado Lavandaria) (z=0)	3,50	1,20	0,60	2,52
Pavimento 1º Piso Escritório (Lado Garagem) (z=0)	6,86	1,20	1,00	8,23
TOTAL				14,61

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma	(W/°C)	TOTAL	62,29
--	--------	--------------	--------------

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FCIV.1c
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m²)	U (W/m².°C)	U.A (W/°C)
Verticais:			
Nascente 1º Piso	3,29	2,60	8,55
Nascente 2º Piso	39,79	2,60	103,45
Poente (Sala com Alpendre)	5,10	2,60	13,25
Sul	12,32	2,60	32,04
Poente	3,52	2,60	9,15
Horizontais:			
Clarabóia Cozinha	0,25	2,90	0,73
Clarabóia Quarto de Banho 1	0,25	2,90	0,73
Clarabóia Quarto de Banho 2	0,25	2,90	0,73
Clarabóia Escadas	0,25	2,90	0,73
TOTAL			169,35

Folha de Cálculo FC IV.1d
Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		<input type="text" value="176,01"/>	(m ²)
Pé-direito médio		<input type="text" value="2,68"/>	(m)
		=	
Volume interior (V)		<input type="text" value="471,71"/>	(m ³)

VENTILAÇÃO NATURAL (Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)

Cumpre a NP 1037-1? (S ou N) se SIM: RPH =

Se NÃO:

Classe da Caixilharia (s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text" value="2"/>	<div>Taxa de Renovação Nominal: Ver Quadro IV.1</div> <div>RPH = <input type="text" value="0,8"/></div>
Caixas de Estore (S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Classe de Exposição (1, 2, 3 ou 4)	<input type="text" value="1"/>	
<small>(Ver Quadro IV.2)</small> Aberturas Auto-reguladas? (S ou N)	<input type="text" value="S"/>	
Área de envidraçados > 15% Ap? (S ou N)	<input type="text" value="S"/>	
Portas Exteriores bem vedadas? (S ou N)	<input type="text" value="N"/>	

VENTILAÇÃO MECÂNICA (excluir exaustor da cozinha)

Caudal de Insuflação	Vins - (m ³ /h)	<input type="text"/>	Vf = <input type="text" value="0,00"/>
Caudal Extraído	Vev - (m ³ /h)	<input type="text"/>	
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	<input type="text" value="0,00"/>	/
Infiltrações <small>(Vent. Natural)</small>	Vx - (h ⁻¹)	<input type="text"/>	
Recuperador de calor	(S ou N)	<input type="text"/>	se SIM, η = <input type="text"/> se NÃO, η = <input type="text" value="0"/>
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	<input type="text" value="0,000"/>	(Vf / V + Vx) · (1-η)
Consumo de Electricidade para os ventiladores		<input type="text"/>	(Ev = Pvx24x0,03xM(kWh))

Volume	<input type="text" value="471,71"/>	
	x	
Taxa de Renovação Nominal	<input type="text" value="0,800"/>	
	x	
	<input type="text" value="0,34"/>	
	=	
TOTAL	<input type="text" value="128,30"/>	(W/°C)

Folha de Cálculo FC IV.1e
Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m ²)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m ²)
Nascente 1º Piso	duplo	3,33	0,56	0,56	0,67	0,65	0,9	0,41
Nascente 2º Piso	duplo	39,79	0,56	0,56	0,94	0,65	0,9	6,86
Sul 2º Piso	duplo	12,32	1,00	0,56	0,29	0,65	0,9	1,17
Poente 2º Piso	duplo	5,1	0,56	0,56	0,84	0,65	0,9	0,79
Poente 2º Piso (alpendre)	duplo	3,52	0,56	0,56	0,27	0,65	0,9	0,17
Clarabóia Cozinha	duplo	0,25	0,89	0,56	0,9	0,65	0,9	0,07
Clarabóia Quarto de Banho 1	duplo	0,25	0,89	0,56	0,9	0,65	0,9	0,07
Clarabóia Quarto de Banho 2	duplo	0,25	0,89	0,56	0,9	0,65	0,9	0,07
Clarabóia Escadas	duplo	0,25	0,89	0,56	0,9	0,65	0,9	0,07

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m²) 9,66
x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul)
na zona 12 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m².mês) 93
x

Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses) 6,7
=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano) 6021,75

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	4 (W/m ²)
	x
Duração da Estação de Aquecimento	6,70 (meses)
	x
Área Útil de pavimento	176,01 (m ²)
	x
	0,72
	=
Ganhos Internos Brutos	3396,29 (kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$ 9418,04
23811,17

Inércia do edifício: 3 a = 4,2 $\gamma =$ 0,40
(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos (η) 0,99
x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos 9418,04
=

Ganhos Úteis Totais (kWh/ano) 9301,36

Folha de Cálculo FC IV.1f
Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m ²
Paredes exteriores		90,13
Coberturas exteriores		135,82
Pavimentos exteriores		6,19
Envidraçados exteriores		65,02
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A . τ)	
Paredes interiores		22,05
Coberturas interiores		0
Pavimentos interiores		45,81
Envidraçados interiores		0
Área total:		365,02
		/
Volume (de FCIV.1d):		471,71
		=
FF		0,77

Graus-dias no local (°C.dia) (do Quadro III.1) 1610

Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	Auxiliar 68,095
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1	84,407
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5	88,225
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	114,899

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano) 84,41

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	256,29
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	62,29
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	169,35
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	128,30

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	616,23
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1610,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	23811,17
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores ($E_v = P_v \times 24 \times 0,03 \times M$ (kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	9301,36
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	14509,81
	/
Área Útil de Pavimento (m ²)	176,01
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)	82,44
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	84,41

Verifica O.K.

Nic/Ni = 97,67%

A.16. EXEMPLO REAL 3 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – ESPANHA

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Parede Nascente (Piso 1)	10,85	0,58	6,30
Painel Madeira (Piso 1)	1,03	0,97	1,00
Parede Nascente (Piso 2)	9,30	0,72	6,70
Parede Norte (Piso 2)	25,05	0,58	14,53
Parede Poente (Piso 2)	30,09	0,47	14,14
Parede Sul (Piso 2)	13,80	0,58	8,01
TOTAL			50,67

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Pavimento Consola Quartos	6,19	0,63	3,90
TOTAL			3,90

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Cobertura	135,82	0,45	61,12
TOTAL			61,12

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Pavimento 1º Piso Escritório (z≤0.50)	9,99	0,66	6,62
Pavimento 1º Piso Escritório (z>0.50)	13,30	0,44	5,86
Pavimento 2º Piso Sala (z≤0.50)	38,45	0,70	26,92
Parede 1º Piso (z= -2.87)	24,14	0,42	10,23
TOTAL			49,63

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos			
2º Piso Fachada Norte com Pavimento Térreo (z=0.70)	4,83	0,8	3,86
2º Piso Fachada Poente com Pavimento Térreo (z=0.20)	13,77	0,6	8,26
1º Piso Fachada Nascente com Pavimento Térreo (z=0.20)	6,32	0,6	3,79
Fachada com os pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores			
2º Piso Fachada Nascente com Garagem	6,41	0,7	4,49
2º Piso Fachada Sul com Garagem (zona corrente)	1,02	0,7	0,71
2º Piso Fachada Sul com Garagem (zona porta)	3,77	0,5	1,89
2º Piso Fachada Poente (alpendre) com Garagem	2,08	0,5	1,04
2º Piso Fachada Norte com Lavandaria	2,93	0,7	2,05
2º Piso Fachada Nascente com Pavimento Exterior	8,73	0,7	6,11
2º Piso Fachada Norte com Pavimento Exterior	1,42	0,7	0,99
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			
Norte	9,83	0,75	7,37
Nascente	15,00	0,75	11,25
Sul	4,76	0,75	3,57
Sul (Sala/Alpendre)	5,03	0,5	2,52
Poente (Sala/Alpendre)	1,94	0,5	0,97
Poente	13,77	0,75	10,33
Dois paredes verticais			
Fachada Poente / Fachada Norte	2,45	0,2	0,49
Fachada Norte / Fachada Nascente	2,90	0,2	0,58
Fachada Nascente / Fachada Sul	2,90	0,2	0,58
TOTAL			70,86

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C) **TOTAL** **236,17**

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Parede 1º Piso em contacto com a Garagem	14,15	0,60	1,00	8,49
Parede 1º Piso em contacto com a Lavandaria	6,08	0,60	0,60	2,19
Porta Escritório / Garagem	1,60	3,50	1,00	5,60
Porta Escritório / Lavandaria	1,63	3,50	0,60	3,43
Pilares Escritório Garagem	1,68	0,84	1,00	1,41
TOTAL				21,12

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Quarto com Lavandaria	9,66	0,58	0,60	3,36
Sala com Garagem	40,01	0,58	1,00	23,21
TOTAL				26,57

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas	Comp.	ψ	τ	τ.ψ.B
(apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	B (m)	(W/m.°C)	(-)	(W/°C)
Parede separação Escritório / Garagem	5,31	0,50	1,00	2,65
Parede separação Escritório / Garagem com Parede Nascente 1º Piso	2,40	0,50	1,00	1,20
TOTAL				3,85

Pavimentos em contacto com o solo (apenas para confrontações com espaços adjacentes não aquecidos)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Pavimento 1º Piso lado Garagem	10,85	0,66	1,00	7,18
Pavimento 1º Piso lado Lavandaria	5,31	0,66	0,60	2,11
TOTAL				9,29

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	51,54
--------------	--------------

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	236,17
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	51,54
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	169,35
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	128,30

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	585,36
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1610,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	22618,26
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores ($E_v = P_v \times 24 \times 0,03 \times M$ (kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	9277,89
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	13340,36
	/
Área Útil de Pavimento (m ²)	176,01
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)	75,79
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	84,41

Verifica O.K.

Nic/Ni = 89,80%

A.17. EXEMPLO REAL 3 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – FRANÇA

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Parede Nascente (Piso 1)	10,85	0,58	6,30
Painel Madeira (Piso 1)	1,03	0,97	1,00
Parede Nascente (Piso 2)	9,30	0,72	6,70
Parede Norte (Piso 2)	25,05	0,58	14,53
Parede Poente (Piso 2)	30,09	0,47	14,14
Parede Sul (Piso 2)	13,80	0,58	8,01
		TOTAL	50,67

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Pavimento Consola Quartos	6,19	0,63	3,90
		TOTAL	3,90

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Cobertura	135,82	0,45	61,12
		TOTAL	61,12

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Pavimento 1º Piso Escritório (z≤0.50)	9,99	0,41	4,14
Pavimento 1º Piso Escritório (z>0.50)	13,30	0,32	4,19
Pavimento 2º Piso Sala (z≤0.50)	38,45	0,42	16,00
Parede 1º Piso (z= -2.87)	24,14	0,38	9,27
		TOTAL	33,59

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos			
2º Piso Fachada Norte com Pavimento Térreo (z=0.70)	4,83	0,8	3,86
2º Piso Fachada Poente com Pavimento Térreo (z=0.20)	13,77	0,6	8,26
1º Piso Fachada Nascente com Pavimento Térreo (z=0.20)	6,32	0,6	3,79
Fachada com os pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores			
2º Piso Fachada Nascente com Garagem	6,41	0,7	4,49
2º Piso Fachada Sul com Garagem (zona corrente)	1,02	0,7	0,71
2º Piso Fachada Sul com Garagem (zona porta)	3,77	0,5	1,89
2º Piso Fachada Poente (alpendre) com Garagem	2,08	0,5	1,04
2º Piso Fachada Norte com Lavandaria	2,93	0,7	2,05
2º Piso Fachada Nascente com Pavimento Exterior	8,73	0,7	6,11
2º Piso Fachada Norte com Pavimento Exterior	1,42	0,7	0,99
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			
Norte	9,83	0,75	7,37
Nascente	15,00	0,75	11,25
Sul	4,76	0,75	3,57
Sul (Sala/Alpendre)	5,03	0,5	2,52
Poente (Sala/Alpendre)	1,94	0,5	0,97
Poente	13,77	0,75	10,33
Dois paredes verticais			
Fachada Poente / Fachada Norte	2,45	0,2	0,49
Fachada Norte / Fachada Nascente	2,90	0,2	0,58
Fachada Nascente / Fachada Sul	2,90	0,2	0,58
		TOTAL	70,86

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Parede 1º Piso em contacto com a Garagem	14,15	0,60	1,00	8,49
Parede 1º Piso em contacto com a Lavandaria	6,08	0,60	0,60	2,19
Porta Escritório / Garagem	1,60	3,50	1,00	5,60
Porta Escritório / Lavandaria	1,63	3,50	0,60	3,43
Pilares Escritório Garagem	1,68	0,84	1,00	1,41
TOTAL				21,12

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Quarto com Lavandaria	9,66	0,58	0,60	3,36
Sala com Garagem	40,01	0,58	1,00	23,21
TOTAL				26,57

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
Parede separação Escritório / Garagem	5,31	0,50	1,00	2,65
Parede separação Escritório / Garagem com Parede Nascente 1º Piso	2,40	0,50	1,00	1,20
TOTAL				3,85

Pavimentos em contacto com o solo (apenas para confrontações com espaços adjacentes não aquecidos)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Pavimento 1º Piso lado Garagem	10,85	0,41	1,00	4,49
Pavimento 1º Piso lado Lavandaria	5,31	0,41	0,60	1,32
TOTAL				5,81

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	51,54
--------------	--------------

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	220,13
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	51,54
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	169,35
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	128,30

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	569,32
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1610,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	21998,51
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores ($E_v = P_v \times 24 \times 0,03 \times M$ (kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	9263,46
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	12735,05
	/
Área Útil de Pavimento (m ²)	176,01
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)	72,35
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	84,41

Verifica O.K.

Nic/Ni = 85,72%

A.18. EXEMPLO REAL 3 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – ISO 13370

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Parede Nascente (Piso 1)	10,85	0,58	6,30
Painel Madeira (Piso 1)	1,03	0,97	1,00
Parede Nascente (Piso 2)	9,30	0,72	6,70
Parede Norte (Piso 2)	25,05	0,58	14,53
Parede Poente (Piso 2)	30,09	0,47	14,14
Parede Sul (Piso 2)	13,80	0,58	8,01
TOTAL			50,67

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Pavimento Consola Quartos	6,19	0,63	3,90
TOTAL			3,90

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Cobertura	135,82	0,45	61,12
TOTAL			61,12

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Pavimento 1º Piso Escritório (z≤0.50)	9,99	0,40	4,03
Pavimento 1º Piso Escritório (z>0.50)	13,30	0,32	4,19
Pavimento 2º Piso Sala (z≤0.50)	38,45	0,42	15,96
Parede 1º Piso (z= -2.87)	24,14	0,38	9,27
TOTAL			33,44

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos			
2º Piso Fachada Norte com Pavimento Térreo (z=0.70)	4,83	0,8	3,86
2º Piso Fachada Poente com Pavimento Térreo (z=0.20)	13,77	0,6	8,26
1º Piso Fachada Nascente com Pavimento Térreo (z=0.20)	6,32	0,6	3,79
Fachada com os pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores			
2º Piso Fachada Nascente com Garagem	6,41	0,7	4,49
2º Piso Fachada Sul com Garagem (zona corrente)	1,02	0,7	0,71
2º Piso Fachada Sul com Garagem (zona porta)	3,77	0,5	1,89
2º Piso Fachada Poente (alpendre) com Garagem	2,08	0,5	1,04
2º Piso Fachada Norte com Lavandaria	2,93	0,7	2,05
2º Piso Fachada Nascente com Pavimento Exterior	8,73	0,7	6,11
2º Piso Fachada Norte com Pavimento Exterior	1,42	0,7	0,99
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			
Norte	9,83	0,75	7,37
Nascente	15,00	0,75	11,25
Sul	4,76	0,75	3,57
Sul (Sala/Alpendre)	5,03	0,5	2,52
Poente (Sala/Alpendre)	1,94	0,5	0,97
Poente	13,77	0,75	10,33
Duas paredes verticais			
Fachada Poente / Fachada Norte	2,45	0,2	0,49
Fachada Norte / Fachada Nascente	2,90	0,2	0,58
Fachada Nascente / Fachada Sul	2,90	0,2	0,58
TOTAL			70,86

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C) **TOTAL** **219,98**

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Parede 1º Piso em contacto com a Garagem	14,15	0,60	1,00	8,49
Parede 1º Piso em contacto com a Lavandaria	6,08	0,60	0,60	2,19
Porta Escritório / Garagem	1,60	3,50	1,00	5,60
Porta Escritório / Lavandaria	1,63	3,50	0,60	3,43
Pilares Escritório Garagem	1,68	0,84	1,00	1,41
TOTAL				21,12

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Quarto com Lavandaria	9,66	0,58	0,60	3,36
Sala com Garagem	40,01	0,58	1,00	23,21
TOTAL				26,57

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
Parede separação Escritório / Garagem	5,31	0,50	1,00	2,65
Parede separação Escritório / Garagem com Parede Nascente 1º Piso	2,40	0,50	1,00	1,20
TOTAL				3,85

Pavimentos em contacto com o solo (apenas para confrontações com espaços adjacentes não aquecidos)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Pavimento 1º Piso lado Garagem	10,85	0,42	1,00	4,51
Pavimento 1º Piso lado Lavandaria	5,31	0,42	0,60	1,33
TOTAL				5,84

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	51,54
--------------	--------------

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	219,98
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	51,54
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	169,35
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	128,30

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	569,17
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1610,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	21992,78
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores (Ev=Pvx24x0,03xM(kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	9263,32
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	12729,46
	/
Área Útil de Pavimento (m2)	176,01
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	72,32
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	84,41

Verifica O.K.

Nic/Ni = 85,68%

A.19. EXEMPLO REAL 3 – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DO RCCTE – MÉTODO PROPOSTO

Folha de Cálculo FCIV.1a
Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m²)	U (W/m².°C)	U.A (W/°C)
Parede Nascente (Piso 1)	10,85	0,58	6,30
Painel Madeira (Piso 1)	1,03	0,97	1,00
Parede Nascente (Piso 2)	9,30	0,72	6,70
Parede Norte (Piso 2)	25,05	0,58	14,53
Parede Poente (Piso 2)	30,09	0,47	14,14
Parede Sul (Piso 2)	13,80	0,58	8,01
TOTAL			50,67

Pavimentos Exteriores	Área (m²)	U (W/m².°C)	U.A (W/°C)
Pavimento Consola Quartos	6,19	0,63	3,90
TOTAL			3,90

Coberturas Exteriores	Área (m²)	U (W/m².°C)	U.A (W/°C)
Cobertura	135,82	0,45	61,12
TOTAL			61,12

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Área (m²)	U (W/m².°C)	U.A (W/°C)
Pavimento 1º Piso Escritório (z≤0.50)	9,99	0,42	4,15
Pavimento 1º Piso Escritório (z>0.50)	13,30	0,33	4,34
Pavimento 2º Piso Sala (z≤0.50)	38,45	0,42	16,19
Parede 1º Piso (z= -2.87)	24,14	0,39	9,46
TOTAL			34,13

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos			
2º Piso Fachada Norte com Pavimento Térreo (z=0.70)	4,83	0,8	3,86
2º Piso Fachada Poente com Pavimento Térreo (z=0.20)	13,77	0,6	8,26
1º Piso Fachada Nascente com Pavimento Térreo (z=0.20)	6,32	0,6	3,79
Fachada com os pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores			
2º Piso Fachada Nascente com Garagem	6,41	0,7	4,49
2º Piso Fachada Sul com Garagem (zona corrente)	1,02	0,7	0,71
2º Piso Fachada Sul com Garagem (zona porta)	3,77	0,5	1,89
2º Piso Fachada Poente (alpendre) com Garagem	2,08	0,5	1,04
2º Piso Fachada Norte com Lavandaria	2,93	0,7	2,05
2º Piso Fachada Nascente com Pavimento Exterior	8,73	0,7	6,11
2º Piso Fachada Norte com Pavimento Exterior	1,42	0,7	0,99
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			
Norte	9,83	0,75	7,37
Nascente	15,00	0,75	11,25
Sul	4,76	0,75	3,57
Sul (Sala/Alpendre)	5,03	0,5	2,52
Poente (Sala/Alpendre)	1,94	0,5	0,97
Poente	13,77	0,75	10,33
Duas paredes verticais			
Fachada Poente / Fachada Norte	2,45	0,2	0,49
Fachada Norte / Fachada Nascente	2,90	0,2	0,58
Fachada Nascente / Fachada Sul	2,90	0,2	0,58
TOTAL			70,86

**Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma**

(W/°C) **TOTAL** **220,67**

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Parede 1º Piso em contacto com a Garagem	14,15	0,60	1,00	8,49
Parede 1º Piso em contacto com a Lavandaria	6,08	0,60	0,60	2,19
Porta Escritório / Garagem	1,60	3,50	1,00	5,60
Porta Escritório / Lavandaria	1,63	3,50	0,60	3,43
Pilares Escritório Garagem	1,68	0,84	1,00	1,41
TOTAL				21,12

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Quarto com Lavandaria	9,66	0,58	0,60	3,36
Sala com Garagem	40,01	0,58	1,00	23,21
TOTAL				26,57

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
não se aplica				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
Parede separação Escritório / Garagem	5,31	0,50	1,00	2,65
Parede separação Escritório / Garagem com Parede Nascente 1º Piso	2,40	0,50	1,00	1,20
TOTAL				3,85

Pavimentos em contacto com o solo (apenas para confrontações com espaços adjacentes não aquecidos)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Pavimento 1º Piso lado Garagem	10,85	0,42	1,00	4,50
Pavimento 1º Piso lado Lavandaria	5,31	0,42	0,60	1,32
TOTAL				5,82

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	51,54
--------------	--------------

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	220,67
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	51,54
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	169,35
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	128,30

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	569,86
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1610,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	22019,44
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores ($E_v = P_v \times 24 \times 0,03 \times M$ (kWh))	0
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	9263,98
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	12755,46
	/
Área Útil de Pavimento (m ²)	176,01
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)	72,47
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	84,41

Verifica O.K.

Nic/Ni = 85,86%

A.20. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO ($z \leq 0,50\text{m}$)

$w = 0,50; 0,45; 0,40; 0,35; 0,30; 0,25; 0,20$ [m]

w =	[$\lambda = 1,5 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$]					[$\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$]					[$\lambda = 3,5 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$]				
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$				
B'	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
3	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,47	0,38	0,32	0,27	0,24	0,57	0,45	0,36	0,31	0,27
4	0,37	0,31	0,27	0,23	0,21	0,43	0,35	0,3	0,26	0,23	0,53	0,42	0,35	0,3	0,26
5	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,4	0,33	0,28	0,24	0,22	0,5	0,4	0,33	0,29	0,25
6	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,37	0,31	0,27	0,23	0,21	0,48	0,38	0,32	0,27	0,24
7	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,45	0,36	0,31	0,27	0,23
8	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19	0,43	0,35	0,29	0,26	0,23
9	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,3	0,26	0,23	0,21	0,18	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22
10	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,39	0,33	0,28	0,24	0,21
12	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2
14	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2
16	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,22	0,19	0,18	0,16	0,15	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19
18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18
20	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17
d _t =	2,32	3,07	3,82	4,57	5,32	2,92	3,92	4,92	5,92	6,92	4,74	6,49	8,24	9,99	11,74

w =	[$\lambda = 1,5 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$]					[$\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$]					[$\lambda = 3,5 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$]				
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$				
B'	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
3	0,42	0,34	0,29	0,25	0,23	0,47	0,38	0,32	0,28	0,24	0,58	0,45	0,37	0,31	0,27
4	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,44	0,35	0,3	0,26	0,23	0,54	0,42	0,35	0,3	0,26
5	0,35	0,29	0,25	0,22	0,2	0,4	0,33	0,28	0,25	0,22	0,5	0,4	0,33	0,29	0,25
6	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,37	0,31	0,27	0,23	0,21	0,48	0,38	0,32	0,28	0,24
7	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,35	0,29	0,25	0,22	0,2	0,46	0,37	0,31	0,27	0,24
8	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,33	0,28	0,24	0,21	0,19	0,43	0,35	0,3	0,26	0,23
9	0,26	0,22	0,2	0,18	0,17	0,31	0,26	0,23	0,21	0,19	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22
10	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,4	0,33	0,28	0,24	0,22
12	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,36	0,31	0,26	0,23	0,2
14	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2
16	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,22	0,19	0,18	0,16	0,15	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19
18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,2	0,18	0,17	0,15	0,14	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18
20	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17
d _t =	2,27	3,02	3,77	4,52	5,27	2,87	3,87	4,87	5,87	6,87	4,69	6,44	8,19	9,94	11,69

w =	[$\lambda = 1,5 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$]					[$\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$]					[$\lambda = 3,5 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$]				
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$				
B'	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
3	0,43	0,35	0,29	0,26	0,23	0,48	0,39	0,32	0,28	0,24	0,58	0,45	0,37	0,31	0,27
4	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,54	0,43	0,35	0,3	0,26
5	0,35	0,3	0,26	0,22	0,2	0,41	0,33	0,28	0,25	0,22	0,51	0,4	0,34	0,29	0,25
6	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,38	0,31	0,27	0,23	0,21	0,48	0,38	0,32	0,28	0,24
7	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,35	0,3	0,26	0,22	0,2	0,46	0,37	0,31	0,27	0,24
8	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19	0,44	0,35	0,3	0,26	0,23
9	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22
10	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,4	0,33	0,28	0,24	0,22
12	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,37	0,31	0,26	0,23	0,2
14	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2
16	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19
18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,21	0,18	0,17	0,15	0,14	0,3	0,25	0,22	0,2	0,18
20	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17
d _t =	2,22	2,97	3,72	4,47	5,22	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	4,64	6,39	8,14	9,89	11,64

w =	$[\lambda = 1,5 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}]$					$[\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}]$					$[\lambda = 3,5 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}]$				
0,35	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$				
B'	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
3	0,43	0,35	0,3	0,26	0,23	0,49	0,39	0,33	0,28	0,25	0,59	0,45	0,37	0,31	0,27
4	0,39	0,32	0,27	0,24	0,21	0,45	0,36	0,3	0,26	0,23	0,55	0,43	0,35	0,3	0,26
5	0,35	0,3	0,26	0,23	0,2	0,41	0,34	0,28	0,25	0,22	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25
6	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,49	0,39	0,32	0,28	0,24
7	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,35	0,3	0,26	0,23	0,2	0,46	0,37	0,31	0,27	0,24
8	0,28	0,24	0,21	0,19	0,18	0,33	0,28	0,25	0,22	0,19	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23
9	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22
10	0,24	0,22	0,19	0,18	0,16	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,4	0,33	0,28	0,24	0,22
12	0,22	0,19	0,18	0,16	0,15	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,37	0,31	0,26	0,23	0,21
14	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2
16	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19
18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,21	0,18	0,17	0,15	0,14	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18
20	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17
d _t =	2,17	2,92	3,67	4,42	5,17	2,77	3,77	4,77	5,77	6,77	4,59	6,34	8,09	9,84	11,59

w =	$[\lambda = 1,5 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}]$					$[\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}]$					$[\lambda = 3,5 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}]$				
0,3	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$				
B'	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
3	0,44	0,35	0,3	0,26	0,23	0,49	0,39	0,33	0,28	0,25	0,59	0,46	0,37	0,31	0,27
4	0,4	0,33	0,28	0,24	0,22	0,45	0,36	0,31	0,26	0,23	0,55	0,43	0,35	0,3	0,26
5	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22	0,52	0,41	0,34	0,29	0,25
6	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,49	0,39	0,32	0,28	0,25
7	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,47	0,37	0,31	0,27	0,24
8	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23
9	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,42	0,35	0,29	0,25	0,22
10	0,25	0,22	0,19	0,18	0,16	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,4	0,33	0,28	0,24	0,22
12	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,37	0,31	0,27	0,23	0,21
14	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2
16	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19
18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,21	0,18	0,17	0,15	0,14	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18
20	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,28	0,24	0,21	0,19	0,18
d _t =	2,12	2,87	3,62	4,37	5,12	2,72	3,72	4,72	5,72	6,72	4,54	6,29	8,04	9,79	11,54

w =	$[\lambda = 1,5 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}]$					$[\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}]$					$[\lambda = 3,5 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}]$				
0,25	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$				
B'	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
3	0,45	0,36	0,3	0,26	0,23	0,5	0,4	0,33	0,28	0,25	0,6	0,46	0,37	0,32	0,27
4	0,4	0,33	0,28	0,24	0,22	0,46	0,37	0,31	0,27	0,24	0,55	0,43	0,36	0,3	0,26
5	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22	0,52	0,41	0,34	0,29	0,25
6	0,33	0,28	0,25	0,22	0,19	0,39	0,32	0,27	0,24	0,21	0,49	0,39	0,33	0,28	0,25
7	0,31	0,26	0,23	0,21	0,19	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,47	0,37	0,31	0,27	0,24
8	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,45	0,36	0,3	0,26	0,23
9	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,42	0,35	0,29	0,25	0,22
10	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,41	0,33	0,28	0,25	0,22
12	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,37	0,31	0,27	0,23	0,21
14	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2
16	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19
18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18
20	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,2	0,17	0,16	0,15	0,13	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18
d _t =	2,07	2,82	3,57	4,32	5,07	2,67	3,67	4,67	5,67	6,67	4,49	6,24	7,99	9,74	11,49

w =	[$\lambda = 1,5 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$]					[$\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$]					[$\lambda = 3,5 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$]				
0,2	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$				
B'	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
3	0,45	0,36	0,31	0,27	0,23	0,51	0,4	0,33	0,29	0,25	0,6	0,46	0,38	0,32	0,27
4	0,41	0,33	0,28	0,25	0,22	0,46	0,37	0,31	0,27	0,24	0,56	0,44	0,36	0,3	0,26
5	0,37	0,31	0,26	0,23	0,21	0,42	0,35	0,29	0,25	0,22	0,53	0,41	0,34	0,29	0,26
6	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,39	0,33	0,28	0,24	0,21	0,5	0,39	0,33	0,28	0,25
7	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19	0,36	0,31	0,26	0,23	0,2	0,47	0,38	0,31	0,27	0,24
8	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,45	0,36	0,3	0,26	0,23
9	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,43	0,35	0,29	0,25	0,23
10	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,41	0,34	0,28	0,25	0,22
12	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,37	0,31	0,27	0,23	0,21
14	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,25	0,22	0,19	0,18	0,16	0,35	0,29	0,25	0,22	0,2
16	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19
18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18
20	0,16	0,14	0,13	0,12	0,12	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18
d _t =	2,02	2,77	3,52	4,27	5,02	2,62	3,62	4,62	5,62	6,62	4,44	6,19	7,94	9,69	11,44

A.21. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO ($z > 0,50\text{m}$)

0,5 < z ≤ 1,0 (w = 0,40)																			
λ =	2						2						2						
z =	0,5						0,75						1						
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$						$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$						$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$						
B'	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0,5	1	1,5	2	2,5	3	
3	0,6	0,45	0,37	0,31	0,27	0,24	0,57	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,55	0,43	0,35	0,3	0,26	0,23	
4	0,53	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22	0,52	0,41	0,33	0,28	0,25	0,22	0,5	0,39	0,33	0,28	0,25	0,22	
6	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,43	0,35	0,3	0,25	0,22	0,2	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	
10	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	
15	0,26	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	
20	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,21	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	
d _t =	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	

0,5 < z ≤ 1,0 (w = 0,40)						
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$					
B'	0,5	1	1,5	2	2,5	3
3	0,57	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23
4	0,52	0,41	0,33	0,28	0,25	0,22
6	0,43	0,35	0,3	0,25	0,22	0,2
10	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17
15	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15
20	0,21	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13

1,0 < z ≤ 2,0 (w = 0,40)																		
λ =	2						2						2					
z =	1						1,5						2					
B'	$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$						$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$						$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$					
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0,5	1	1,5	2	2,5	3
3	0,55	0,43	0,35	0,3	0,26	0,23	0,51	0,4	0,34	0,29	0,25	0,22	0,48	0,39	0,32	0,28	0,24	0,22
4	0,5	0,39	0,33	0,28	0,25	0,22	0,47	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,21
6	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,4	0,33	0,28	0,24	0,21	0,19	0,38	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19
10	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16
15	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,23	0,2	0,18	0,17	0,15	0,14
20	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12
d _t =	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82

1,0 < z ≤ 2,0 (w = 0,40)						
B'	$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$					
	0,5	1	1,5	2	2,5	3
6	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22
7	0,47	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21
8	0,4	0,33	0,28	0,24	0,21	0,19
9	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17
10	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14
12	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13

2,0 < z ≤ 3,0 (w = 0,40)																		
λ =	2						2						2					
z =	2						2,5						3					
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$						$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$						$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					
B'	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0,5	1	1,5	2	2,5	3
3	0,48	0,39	0,32	0,28	0,24	0,22	0,45	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,43	0,35	0,3	0,26	0,23	0,21
4	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,21	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,39	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2
6	0,38	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18
10	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18	0,16	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16
15	0,23	0,2	0,18	0,17	0,15	0,14	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14
20	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12
d _t =	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82

2,0 < z ≤ 3,0 (w = 0,40)						
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					
B'	0,5	1	1,5	2	2,5	3
6	0,45	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21
7	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2
8	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18
9	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18	0,16
10	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14
12	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12

$z \geq 3 \quad (w = 0,40)$																		
$\lambda =$	2						2						2					
$z =$	3						4						5					
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$						$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$						$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					
B'	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0,5	1	1,5	2	2,5	3
3	0,43	0,35	0,3	0,26	0,23	0,21	0,39	0,32	0,28	0,24	0,22	0,2	0,35	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19
4	0,39	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2	0,36	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18
6	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17
10	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14
15	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,2	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13
20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,12	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11
$d_t =$	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82

$z \geq 3 \quad (w = 0,40)$						
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					
B'	0,5	1	1,5	2	2,5	3
6	0,39	0,32	0,28	0,24	0,22	0,2
7	0,36	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19
8	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17
9	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15
10	0,2	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13
12	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,12

A.22. PAREDE EM CONTACTO COM O TERRENO

$R_f = 0,5 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							
$\lambda =$	2						
	$R_w \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W} \quad w = 0,30 \text{ m}$						
z	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,36	0,30
0,5	2,77	1,10	0,68	0,49	0,39	0,32	0,27
1	1,97	0,91	0,60	0,44	0,35	0,29	0,25
2	1,32	0,70	0,48	0,37	0,30	0,25	0,21
3	1,02	0,58	0,41	0,32	0,26	0,22	0,19
4	0,84	0,50	0,36	0,29	0,24	0,20	0,18
5	0,72	0,44	0,33	0,26	0,22	0,19	0,17
6	0,64	0,39	0,30	0,24	0,20	0,18	0,16
d _f =	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72
d _w =	0,34	1,34	2,34	3,34	4,34	5,34	6,34

$R_f = 1,0 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							
$\lambda =$	2						
	$R_w \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W} \quad w = 0,30 \text{ m}$						
z	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,36	0,30
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,39	0,32	0,27
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,36	0,30	0,25
2	1,32	0,70	0,50	0,38	0,31	0,26	0,22
3	1,02	0,58	0,43	0,34	0,28	0,23	0,20
4	0,84	0,50	0,38	0,30	0,25	0,21	0,19
5	0,72	0,44	0,34	0,27	0,23	0,20	0,17
6	0,64	0,39	0,31	0,25	0,21	0,18	0,16
$d_f =$	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72
$d_w =$	0,34	1,34	2,34	3,34	4,34	5,34	6,34

$R_f = 0,5 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							
$\lambda =$	2						
$R_w \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W} \quad w = 0,40 \text{ m}$							
z	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,36	0,30
0,5	2,77	1,10	0,69	0,49	0,39	0,32	0,27
1	1,97	0,91	0,60	0,44	0,35	0,29	0,25
2	1,32	0,70	0,49	0,37	0,30	0,25	0,22
3	1,02	0,58	0,42	0,32	0,27	0,22	0,20
4	0,84	0,50	0,37	0,29	0,24	0,21	0,18
5	0,72	0,44	0,33	0,26	0,22	0,19	0,17
6	0,64	0,39	0,30	0,24	0,21	0,18	0,16
$d_f =$	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82
$d_w =$	0,34	1,34	2,34	3,34	4,34	5,34	6,34

$R_f = 1,0 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							
$\lambda =$	2						
$R_w \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W} \quad w = 0,40 \text{ m}$							
z	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,36	0,30
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,32	0,28
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,36	0,30	0,26
2	1,32	0,70	0,50	0,39	0,31	0,26	0,23
3	1,02	0,58	0,43	0,34	0,28	0,24	0,20
4	0,84	0,50	0,38	0,30	0,25	0,21	0,19
5	0,72	0,44	0,34	0,28	0,23	0,20	0,17
6	0,64	0,39	0,31	0,25	0,21	0,19	0,16
$d_f =$	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82
$d_w =$	0,34	1,34	2,34	3,34	4,34	5,34	6,34

$R_f = 2,0 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							
$\lambda = 2$							
$R_w \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W} \quad w = 0,30 \text{ m}$							
z	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,36	0,30
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,33	0,28
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,37	0,31	0,26
2	1,32	0,70	0,50	0,39	0,32	0,27	0,24
3	1,02	0,58	0,43	0,34	0,29	0,25	0,21
4	0,84	0,50	0,38	0,31	0,26	0,23	0,20
5	0,72	0,44	0,34	0,28	0,24	0,21	0,18
6	0,64	0,39	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17
$d_i =$	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72
$d_w =$	0,34	1,34	2,34	3,34	4,34	5,34	6,34

$R_f = 3,0 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							
$\lambda = 2$							
$R_w \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W} \quad w = 0,30 \text{ m}$							
z	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,36	0,30
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,33	0,28
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,37	0,31	0,27
2	1,32	0,70	0,50	0,39	0,32	0,28	0,24
3	1,02	0,58	0,43	0,34	0,29	0,25	0,22
4	0,84	0,50	0,38	0,31	0,26	0,23	0,20
5	0,72	0,44	0,34	0,28	0,24	0,21	0,19
6	0,64	0,39	0,31	0,26	0,22	0,20	0,18
$d_i =$	6,72	6,72	6,72	6,72	6,72	6,72	6,72
$d_w =$	0,34	1,34	2,34	3,34	4,34	5,34	6,34

$R_f = 2,0 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							
$\lambda = 2$							
$R_w \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W} \quad w = 0,40 \text{ m}$							
z	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,36	0,30
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,33	0,28
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,37	0,31	0,26
2	1,32	0,70	0,50	0,39	0,32	0,27	0,24
3	1,02	0,58	0,43	0,34	0,29	0,25	0,22
4	0,84	0,50	0,38	0,31	0,26	0,23	0,20
5	0,72	0,44	0,34	0,28	0,24	0,21	0,18
6	0,64	0,39	0,31	0,26	0,22	0,20	0,17
$d_i =$	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82
$d_w =$	0,34	1,34	2,34	3,34	4,34	5,34	6,34

$R_f = 3,0 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							
$\lambda = 2$							
$R_w \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W} \quad w = 0,40 \text{ m}$							
z	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,36	0,30
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,33	0,28
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,37	0,31	0,27
2	1,32	0,70	0,50	0,39	0,32	0,28	0,24
3	1,02	0,58	0,43	0,34	0,29	0,25	0,22
4	0,84	0,50	0,38	0,31	0,26	0,23	0,20
5	0,72	0,44	0,34	0,28	0,24	0,21	0,19
6	0,64	0,39	0,31	0,26	0,22	0,20	0,18
$d_i =$	6,82	6,82	6,82	6,82	6,82	6,82	6,82
$d_w =$	0,34	1,34	2,34	3,34	4,34	5,34	6,34

Média dos valores para as várias resistências térmicas do pavimento

$\lambda = 2$							
$R_w \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W} \quad w = 0,30 \text{ m}$							
z	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,36	0,30
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,33	0,28
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,36	0,30	0,26
2	1,32	0,70	0,50	0,38	0,31	0,27	0,23
3	1,02	0,58	0,43	0,34	0,28	0,24	0,21
4	0,84	0,50	0,38	0,30	0,25	0,22	0,19
5	0,72	0,44	0,34	0,27	0,23	0,20	0,18
6	0,64	0,39	0,31	0,25	0,21	0,19	0,17

Média dos valores para as várias resistências térmicas do pavimento

$\lambda = 2$							
$R_w \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W} \quad w = 0,40 \text{ m}$							
z	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,36	0,30
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,33	0,28
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,36	0,30	0,26
2	1,32	0,70	0,50	0,39	0,31	0,27	0,23
3	1,02	0,58	0,43	0,34	0,28	0,24	0,21
4	0,84	0,50	0,38	0,30	0,25	0,22	0,19
5	0,72	0,44	0,34	0,28	0,23	0,20	0,18
6	0,64	0,39	0,31	0,25	0,22	0,19	0,17

A.23. PAVIMENTO EM CONTACTO COM O TERRENO COM ISOLAMENTO PERIMETRAL HORIZONTAL

$$d_n = 0,03$$

$$R_n = 0,7958$$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]							D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]							D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]						
0,4	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$							$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$							$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$						
B'	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
3	0,86	0,6	0,46	0,36	0,29	0,25	0,21	0,79	0,57	0,44	0,35	0,29	0,24	0,2	0,75	0,55	0,42	0,34	0,28	0,23	0,2
4	0,74	0,54	0,42	0,34	0,29	0,24	0,21	0,69	0,52	0,41	0,34	0,28	0,24	0,21	0,66	0,5	0,4	0,33	0,28	0,24	0,2
5	0,65	0,49	0,39	0,33	0,28	0,24	0,21	0,61	0,47	0,38	0,32	0,27	0,23	0,21	0,59	0,46	0,37	0,31	0,27	0,23	0,2
6	0,59	0,45	0,36	0,31	0,26	0,23	0,2	0,55	0,43	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,53	0,42	0,35	0,3	0,26	0,22	0,2
7	0,53	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,5	0,4	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2	0,48	0,39	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19
8	0,49	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,46	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,44	0,36	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19
9	0,45	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,43	0,35	0,29	0,26	0,23	0,2	0,18	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18
10	0,42	0,34	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,4	0,33	0,28	0,24	0,22	0,2	0,18	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18
12	0,37	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,35	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16
14	0,33	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,32	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,31	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,15
16	0,3	0,25	0,22	0,19	0,18	0,16	0,15	0,29	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15
18	0,28	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,26	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,26	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14
20	0,26	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,24	0,21	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13
d _t =	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82

$$d' = 1,5916$$

$$d_n = 0,04$$

$$R_n = 1,0611$$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]								D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]								D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]							
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$								$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$								$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							
B'	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3			
3	0,85	0,6	0,45	0,36	0,29	0,24	0,21	0,77	0,56	0,43	0,34	0,28	0,24	0,2	0,72	0,53	0,41	0,33	0,27	0,23	0,2			
4	0,73	0,54	0,42	0,34	0,29	0,24	0,21	0,67	0,51	0,4	0,33	0,28	0,24	0,21	0,63	0,49	0,39	0,32	0,27	0,23	0,2			
5	0,65	0,49	0,39	0,32	0,27	0,24	0,21	0,6	0,46	0,38	0,31	0,27	0,23	0,2	0,57	0,45	0,37	0,31	0,26	0,23	0,2			
6	0,58	0,44	0,36	0,31	0,26	0,23	0,2	0,54	0,43	0,35	0,3	0,26	0,23	0,2	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2			
7	0,53	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,49	0,39	0,33	0,28	0,25	0,22	0,19	0,47	0,38	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19			
8	0,48	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,45	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,43	0,36	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19			
9	0,45	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,42	0,34	0,29	0,25	0,23	0,2	0,18	0,4	0,33	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18			
10	0,41	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,39	0,32	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18	0,38	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17			
12	0,37	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,35	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16			
14	0,33	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,31	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,16	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,15			
16	0,3	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15			
18	0,27	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,26	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,25	0,22	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14			
20	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,24	0,21	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13			
$d_t =$	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82			

$$d' = 2,1222$$

$$d_n = 0,05$$

$$R_n = 1,3264$$

w = 0,4	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]							D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]							D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]						
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$						
B'	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
3	0,84	0,59	0,45	0,35	0,29	0,24	0,21	0,75	0,55	0,42	0,34	0,28	0,23	0,2	0,7	0,52	0,4	0,32	0,27	0,22	0,19
4	0,73	0,53	0,42	0,34	0,28	0,24	0,21	0,66	0,5	0,4	0,33	0,28	0,24	0,2	0,62	0,48	0,38	0,32	0,27	0,23	0,2
5	0,64	0,48	0,39	0,32	0,27	0,24	0,21	0,59	0,46	0,37	0,31	0,27	0,23	0,2	0,55	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2
6	0,57	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,53	0,42	0,35	0,3	0,26	0,22	0,2	0,5	0,4	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2
7	0,52	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,48	0,39	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19	0,46	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19
8	0,48	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,45	0,36	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19	0,42	0,35	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19
9	0,44	0,35	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,39	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18
10	0,41	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,39	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17
12	0,36	0,3	0,26	0,22	0,2	0,18	0,17	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,33	0,28	0,24	0,22	0,2	0,18	0,16
14	0,33	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,31	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,15	0,3	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17	0,15
16	0,3	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14
18	0,27	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,26	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14
20	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,24	0,21	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13
$d_t =$	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82

$$d' = 2,6527$$

$$d_n = 0,06$$

$$R_n = 1,5916$$

w = 0,4	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]							D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]							D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]						
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$						
B'	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
3	0,83	0,59	0,44	0,35	0,29	0,24	0,2	0,74	0,54	0,42	0,33	0,27	0,23	0,2	0,68	0,5	0,39	0,32	0,26	0,22	0,19
4	0,72	0,53	0,41	0,34	0,28	0,24	0,21	0,65	0,49	0,39	0,32	0,27	0,23	0,2	0,6	0,47	0,38	0,31	0,26	0,23	0,2
5	0,64	0,48	0,39	0,32	0,27	0,24	0,21	0,58	0,45	0,37	0,31	0,26	0,23	0,2	0,54	0,43	0,35	0,3	0,26	0,22	0,2
6	0,57	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,52	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,49	0,4	0,33	0,29	0,25	0,22	0,19
7	0,52	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,48	0,39	0,32	0,28	0,24	0,22	0,19	0,45	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19
8	0,48	0,38	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19	0,42	0,35	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18
9	0,44	0,35	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,39	0,32	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18
10	0,41	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18	0,36	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17
12	0,36	0,3	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17	0,34	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,32	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18	0,16
14	0,32	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,15	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17	0,15
16	0,3	0,25	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,27	0,23	0,2	0,19	0,17	0,16	0,14
18	0,27	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,26	0,22	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,25	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14
20	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,24	0,2	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13
d _t =	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82

$$d' = 3,1832$$

$$d_n = 0,07$$

$$R_n = 1,8569$$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^{\circ}\text{C)}$]							D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^{\circ}\text{C)}$]							D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^{\circ}\text{C)}$]						
0,4	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)/W}$							$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)/W}$							$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)/W}$						
B'	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
3	0,83	0,58	0,44	0,35	0,29	0,24	0,2	0,73	0,53	0,41	0,33	0,27	0,23	0,19	0,67	0,49	0,39	0,31	0,26	0,22	0,19
4	0,72	0,53	0,41	0,34	0,28	0,24	0,21	0,64	0,49	0,39	0,32	0,27	0,23	0,2	0,59	0,46	0,37	0,31	0,26	0,22	0,19
5	0,63	0,48	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,57	0,45	0,37	0,31	0,26	0,23	0,2	0,53	0,42	0,35	0,3	0,25	0,22	0,2
6	0,57	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,52	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,49	0,39	0,33	0,28	0,25	0,22	0,19
7	0,52	0,4	0,33	0,29	0,25	0,22	0,2	0,47	0,38	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19	0,45	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19
8	0,47	0,38	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19	0,41	0,34	0,29	0,26	0,23	0,2	0,18
9	0,44	0,35	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,41	0,33	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,38	0,32	0,28	0,24	0,22	0,2	0,18
10	0,41	0,33	0,28	0,24	0,22	0,2	0,18	0,38	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,36	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17
12	0,36	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17	0,34	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18	0,16
14	0,32	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,15	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15
16	0,29	0,25	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,15	0,14
18	0,27	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,25	0,22	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14
20	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,24	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13
d _t =	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82

$$d' = 3,7138$$

$$d_n = 0,08$$

$$R_n = 2,1222$$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]							D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]							D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]						
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$						
B'	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
3	0,82	0,58	0,44	0,35	0,29	0,24	0,2	0,72	0,53	0,41	0,33	0,27	0,23	0,19	0,65	0,49	0,38	0,31	0,25	0,21	0,18
4	0,71	0,52	0,41	0,34	0,28	0,24	0,21	0,64	0,48	0,39	0,32	0,27	0,23	0,2	0,59	0,45	0,37	0,3	0,26	0,22	0,19
5	0,63	0,48	0,38	0,32	0,27	0,23	0,21	0,57	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,53	0,42	0,35	0,29	0,25	0,22	0,19
6	0,57	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,52	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,48	0,39	0,33	0,28	0,24	0,21	0,19
7	0,51	0,4	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2	0,47	0,38	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19	0,44	0,36	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19
8	0,47	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,43	0,35	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19	0,41	0,34	0,29	0,25	0,23	0,2	0,18
9	0,44	0,35	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,4	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,38	0,32	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18
10	0,41	0,33	0,28	0,24	0,22	0,2	0,18	0,38	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,36	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17
12	0,36	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17	0,33	0,28	0,24	0,22	0,2	0,18	0,16	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18	0,16
14	0,32	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,3	0,26	0,22	0,2	0,18	0,17	0,15	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15
16	0,29	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,15	0,14
18	0,27	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14
20	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13
$d_t =$	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82

$$d' = 4,2443$$

$$d_n = 0,09$$

$$R_n = 2,3874$$

w = 0,4	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]								D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]								D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]							
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$								$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$								$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							
B'	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3			
3	0,82	0,58	0,44	0,35	0,28	0,24	0,2	0,72	0,52	0,4	0,32	0,27	0,22	0,19	0,65	0,48	0,38	0,3	0,25	0,21	0,18			
4	0,71	0,52	0,41	0,33	0,28	0,24	0,21	0,63	0,48	0,38	0,32	0,27	0,23	0,2	0,58	0,45	0,36	0,3	0,26	0,22	0,19			
5	0,63	0,47	0,38	0,32	0,27	0,23	0,2	0,57	0,44	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,52	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22	0,19			
6	0,56	0,43	0,36	0,3	0,26	0,23	0,2	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,48	0,39	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19			
7	0,51	0,4	0,33	0,28	0,25	0,22	0,19	0,47	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,44	0,36	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19			
8	0,47	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,43	0,35	0,3	0,26	0,23	0,21	0,18	0,4	0,34	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18			
9	0,44	0,35	0,29	0,26	0,23	0,2	0,18	0,4	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,38	0,32	0,27	0,24	0,22	0,19	0,18			
10	0,41	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18	0,38	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,35	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17			
12	0,36	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17	0,33	0,28	0,24	0,22	0,2	0,18	0,16	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16			
14	0,32	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,3	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17	0,15	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15			
16	0,29	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,26	0,23	0,2	0,18	0,17	0,15	0,14			
18	0,27	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14			
20	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13			
d _t =	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82			

$$d' = 4,7749$$

$$d_n = 0,1$$

$$R_n = 2,6527$$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]							D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]							D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]						
0,4	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$							$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$						
B'	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
3	0,82	0,57	0,44	0,35	0,28	0,24	0,2	0,71	0,52	0,4	0,32	0,26	0,22	0,19	0,64	0,47	0,37	0,3	0,25	0,21	0,18
4	0,71	0,52	0,41	0,33	0,28	0,24	0,21	0,63	0,48	0,38	0,31	0,27	0,23	0,2	0,57	0,44	0,36	0,3	0,25	0,22	0,19
5	0,63	0,47	0,38	0,32	0,27	0,23	0,2	0,56	0,44	0,36	0,3	0,26	0,22	0,2	0,52	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,19
6	0,56	0,43	0,35	0,3	0,26	0,23	0,2	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,19	0,47	0,38	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19
7	0,51	0,4	0,33	0,28	0,25	0,22	0,19	0,47	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,43	0,36	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19
8	0,47	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,43	0,35	0,3	0,26	0,23	0,2	0,18	0,4	0,33	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18
9	0,43	0,35	0,29	0,26	0,23	0,2	0,18	0,4	0,33	0,28	0,25	0,22	0,2	0,18	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18
10	0,4	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,35	0,3	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17
12	0,36	0,29	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18	0,16	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16
14	0,32	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,3	0,25	0,22	0,2	0,18	0,17	0,15	0,28	0,24	0,22	0,2	0,18	0,16	0,15
16	0,29	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,26	0,22	0,2	0,18	0,17	0,15	0,14
18	0,27	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13
20	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,22	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13
d _t =	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82	0,82	1,82	2,82	3,82	4,82	5,82	6,82

$$d' = 5,3054$$

Diferenças de resultados entre os quadros para $d_n = 0,03$ m e $d_n = 0,10$ m

w = 0,4	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0$ W/(m.°C)]							D = 1,0 m [$\lambda = 2,0$ W/(m.°C)]							D = 1,5 m [$\lambda = 2,0$ W/(m.°C)]						
	R_f (m ² .°C)/W							R_f (m ² .°C)/W							R_f (m ² .°C)/W						
B'	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
3	0,040	0,030	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010	0,080	0,050	0,040	0,030	0,030	0,020	0,010	0,110	0,080	0,050	0,040	0,030	0,020	0,020
4	0,030	0,020	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,060	0,040	0,030	0,030	0,010	0,010	0,010	0,090	0,060	0,040	0,030	0,030	0,020	0,010
5	0,020	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,050	0,030	0,020	0,020	0,010	0,010	0,010	0,070	0,050	0,030	0,020	0,020	0,010	0,010
6	0,030	0,020	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,040	0,020	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010	0,060	0,040	0,030	0,020	0,020	0,010	0,010
7	0,020	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,010	0,030	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,050	0,030	0,030	0,020	0,010	0,010	0,000
8	0,020	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,040	0,030	0,020	0,020	0,010	0,010	0,010
9	0,020	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,020	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,040	0,030	0,020	0,010	0,010	0,010	0,000
10	0,020	0,010	0,000	0,010	0,000	0,010	0,000	0,030	0,020	0,010	0,000	0,010	0,010	0,010	0,030	0,020	0,010	0,010	0,000	0,000	0,010
12	0,010	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,020	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000	0,010	0,030	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010	0,000
14	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,020	0,010	0,010	0,010	0,000	0,010	0,030	0,020	0,010	0,000	0,000	0,010	0,000
16	0,010	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,020	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,020	0,020	0,010	0,010	0,000	0,010	0,010
18	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,020	0,010	0,010	0,010	0,000	0,010	0,010
20	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,020	0,020	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000

Diferenças de resultados entre os quadros para $d_n = 0,03$ m e $d_n = 0,06$ m

w = 0,4	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0$ W/(m.°C)]							D = 1,0 m [$\lambda = 2,0$ W/(m.°C)]							D = 1,5 m [$\lambda = 2,0$ W/(m.°C)]						
	R_f (m ² .°C)/W							R_f (m ² .°C)/W							R_f (m ² .°C)/W						
B'	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
3	0,030	0,010	0,020	0,010	0,000	0,010	0,010	0,050	0,030	0,020	0,020	0,020	0,010	0,000	0,070	0,050	0,030	0,020	0,020	0,010	0,010
4	0,020	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,040	0,030	0,020	0,020	0,010	0,010	0,010	0,060	0,030	0,020	0,020	0,020	0,010	0,000
5	0,010	0,010	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000	0,030	0,020	0,010	0,010	0,010	0,000	0,010	0,050	0,030	0,020	0,010	0,010	0,010	0,000
6	0,020	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,030	0,010	0,020	0,010	0,010	0,010	0,000	0,040	0,020	0,020	0,010	0,010	0,000	0,010
7	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000	0,010	0,030	0,020	0,020	0,010	0,000	0,010	0,000
8	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,020	0,010	0,010	0,010	0,000	0,010	0,010
9	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,010	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000	0,020	0,020	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,010	0,010	0,000	0,010	0,010	0,000	0,020	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,010
12	0,010	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,020	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000
14	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,010	0,000	0,010	0,010	0,000	0,010	0,020	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000
16	0,000	0,000	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,010
18	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000
20	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000

A.24. PAVIMENTO EM CONTACTO COM O TERRENO COM ISOLAMENTO PERIMETRAL VERTICAL

$$R_n = 0,7958$$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]					D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]					D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]				
0,4	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$				
B'	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3
3	0,79	0,57	0,44	0,29	0,2	0,72	0,53	0,41	0,27	0,2	0,68	0,5	0,39	0,26	0,19
4	0,69	0,52	0,41	0,28	0,21	0,63	0,49	0,39	0,27	0,2	0,6	0,47	0,38	0,26	0,2
6	0,55	0,43	0,36	0,26	0,2	0,51	0,41	0,34	0,25	0,2	0,49	0,4	0,33	0,25	0,19
10	0,4	0,33	0,28	0,22	0,18	0,38	0,31	0,27	0,21	0,17	0,36	0,31	0,27	0,21	0,17
15	0,3	0,25	0,22	0,18	0,15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15	0,28	0,24	0,21	0,17	0,15
20	0,24	0,21	0,19	0,15	0,13	0,23	0,2	0,18	0,15	0,13	0,23	0,2	0,18	0,15	0,13
$d_i =$	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82
$d' =$	1,5916														

$$R_n = 1,0611$$

[illegible]

$$R_n = 1,3264$$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]					D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]					D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]				
0,4	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$				
B'	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3
3	0,75	0,55	0,42	0,28	0,2	0,65	0,49	0,38	0,26	0,19	0,6	0,45	0,36	0,24	0,18
4	0,66	0,5	0,4	0,28	0,2	0,59	0,46	0,37	0,26	0,19	0,54	0,43	0,35	0,25	0,19
6	0,53	0,42	0,35	0,26	0,2	0,48	0,39	0,33	0,25	0,19	0,45	0,37	0,32	0,24	0,19
10	0,39	0,32	0,27	0,21	0,18	0,36	0,3	0,26	0,21	0,17	0,34	0,29	0,26	0,2	0,17
15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15	0,27	0,24	0,21	0,17	0,15	0,26	0,23	0,21	0,17	0,15
20	0,24	0,21	0,18	0,15	0,13	0,22	0,2	0,18	0,15	0,13	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13
$d_i =$	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82
$d' =$	2,6527														

$$R_n = 1,5916$$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]					D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]					D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]				
0,4	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$				
B'	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3
3	0,74	0,54	0,42	0,27	0,2	0,63	0,48	0,37	0,25	0,18	0,57	0,43	0,34	0,23	0,17
4	0,65	0,49	0,39	0,27	0,2	0,57	0,45	0,36	0,26	0,19	0,52	0,41	0,34	0,24	0,18
6	0,52	0,42	0,34	0,25	0,2	0,47	0,38	0,32	0,24	0,19	0,44	0,36	0,31	0,23	0,18
10	0,38	0,32	0,27	0,21	0,18	0,35	0,3	0,26	0,21	0,17	0,33	0,29	0,25	0,2	0,17
15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15	0,27	0,23	0,21	0,17	0,15	0,26	0,23	0,2	0,17	0,14
20	0,24	0,2	0,18	0,15	0,13	0,22	0,2	0,18	0,15	0,13	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13
$d_t =$	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82
$d' =$	3,1832														

$$R_0 = 1,8569$$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]					D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]					D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]				
0,4	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$				
B'	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3
3	0,73	0,53	0,41	0,27	0,19	0,62	0,46	0,37	0,25	0,18	0,55	0,42	0,33	0,23	0,17
4	0,64	0,49	0,39	0,27	0,2	0,56	0,44	0,36	0,25	0,19	0,51	0,4	0,33	0,24	0,18
6	0,52	0,41	0,34	0,25	0,2	0,46	0,38	0,32	0,24	0,19	0,43	0,36	0,3	0,23	0,18
10	0,38	0,31	0,27	0,21	0,17	0,34	0,29	0,26	0,21	0,17	0,32	0,28	0,25	0,2	0,17
15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15	0,27	0,23	0,21	0,17	0,15	0,25	0,22	0,2	0,17	0,14
20	0,24	0,2	0,18	0,15	0,13	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,21	0,19	0,17	0,14	0,13
$d_i =$	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82
$d' =$	3,7138														

$$R_0 = 2,1222$$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]					D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]					D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$]				
0,4	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$				
B'	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3
3	0,72	0,53	0,41	0,27	0,19	0,6	0,45	0,36	0,24	0,18	0,53	0,41	0,32	0,22	0,16
4	0,64	0,48	0,39	0,27	0,2	0,55	0,43	0,35	0,25	0,19	0,49	0,39	0,32	0,23	0,18
6	0,52	0,41	0,34	0,25	0,2	0,45	0,37	0,32	0,24	0,19	0,42	0,35	0,3	0,23	0,18
10	0,38	0,31	0,27	0,21	0,17	0,34	0,29	0,26	0,2	0,17	0,32	0,28	0,24	0,2	0,16
15	0,29	0,24	0,22	0,18	0,15	0,26	0,23	0,21	0,17	0,15	0,25	0,22	0,2	0,17	0,14
20	0,23	0,2	0,18	0,15	0,13	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,21	0,18	0,17	0,14	0,13
d _t =	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82
d' =	4,2443														

$$d_n = 0,09$$

$$R_n = 2,3874$$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$]					D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$]					D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$]				
0,4	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$				
B'	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3
3	0,72	0,52	0,4	0,27	0,19	0,59	0,45	0,35	0,24	0,17	0,52	0,39	0,31	0,21	0,16
4	0,63	0,48	0,38	0,27	0,2	0,54	0,42	0,34	0,24	0,18	0,48	0,38	0,32	0,23	0,17
6	0,51	0,41	0,34	0,25	0,2	0,45	0,37	0,31	0,24	0,19	0,41	0,34	0,29	0,22	0,18
10	0,38	0,31	0,27	0,21	0,17	0,34	0,29	0,25	0,2	0,17	0,31	0,27	0,24	0,2	0,16
15	0,29	0,24	0,21	0,18	0,15	0,26	0,23	0,2	0,17	0,15	0,25	0,22	0,2	0,17	0,14
20	0,23	0,2	0,18	0,15	0,13	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,2	0,18	0,17	0,14	0,12
$d_i =$	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82
$d' = 4,7749$															

$$d_n = 0,1$$

$$R_n = 2,6527$$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$]					D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$]					D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$]				
0,4	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$				
B'	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3
3	0,71	0,52	0,4	0,26	0,19	0,58	0,44	0,35	0,23	0,17	0,5	0,38	0,31	0,21	0,15
4	0,63	0,48	0,38	0,27	0,2	0,53	0,42	0,34	0,24	0,18	0,47	0,38	0,31	0,22	0,17
6	0,51	0,41	0,34	0,25	0,19	0,44	0,37	0,31	0,23	0,18	0,4	0,34	0,29	0,22	0,18
10	0,37	0,31	0,27	0,21	0,17	0,33	0,29	0,25	0,2	0,17	0,31	0,27	0,24	0,19	0,16
15	0,28	0,24	0,21	0,18	0,15	0,26	0,23	0,2	0,17	0,14	0,24	0,22	0,2	0,16	0,14
20	0,23	0,2	0,18	0,15	0,13	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,2	0,18	0,17	0,14	0,12
$d_i =$	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82	0,82	1,82	2,82	4,82	6,82
$d' = 5,3054$															

Diferenças de resultados entre os quadros para $d_n = 0,03 \text{ m}$ e $d_n = 0,06 \text{ m}$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$]					D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$]					D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$]				
0,4	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$				
B'	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3
3	0,050	0,030	0,020	0,020	0,000	0,090	0,050	0,040	0,020	0,020	0,110	0,070	0,050	0,030	0,020
4	0,040	0,030	0,020	0,010	0,010	0,060	0,040	0,030	0,010	0,010	0,080	0,060	0,040	0,020	0,020
6	0,030	0,010	0,020	0,010	0,000	0,040	0,030	0,020	0,010	0,010	0,050	0,040	0,020	0,020	0,010
10	0,020	0,010	0,010	0,010	0,000	0,030	0,010	0,010	0,000	0,000	0,030	0,020	0,020	0,010	0,000
15	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,020	0,010	0,010	0,000	0,020	0,010	0,010	0,000	0,010
20	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,010	0,010	0,000	0,000

Diferenças de resultados entre os quadros para $d_n = 0,03 \text{ m}$ e $d_n = 0,10 \text{ m}$

w =	D = 0,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$]					D = 1,0 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$]					D = 1,5 m [$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$]				
0,4	$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$				
B'	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3	0	0,5	1	2	3
3	0,080	0,050	0,040	0,030	0,010	0,140	0,090	0,060	0,040	0,030	0,180	0,120	0,080	0,050	0,040
4	0,060	0,040	0,030	0,010	0,010	0,100	0,070	0,050	0,030	0,020	0,130	0,090	0,070	0,040	0,030
6	0,040	0,020	0,020	0,010	0,010	0,070	0,040	0,030	0,020	0,020	0,090	0,060	0,040	0,030	0,010
10	0,030	0,020	0,010	0,010	0,010	0,050	0,020	0,020	0,010	0,000	0,050	0,040	0,030	0,020	0,010
15	0,020	0,010	0,010	0,000	0,000	0,030	0,020	0,020	0,010	0,010	0,040	0,020	0,010	0,010	0,010
20	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,020	0,010	0,010	0,000	0,000	0,030	0,020	0,010	0,010	0,010

A.25. CÁLCULO DETALHADO DAS PERDAS TÉRMICAS PELOS ELEMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO PARA OS EDIFÍCIOS ESQUEMÁTICOS E POR APLICAÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA, ESPANHOLA, FRANCESA E DA NORMA ISO 13370

Edifício Esquemático 1

Área = 144 m²

Situação Portuguesa

$$R_{\text{isolamento}} = \frac{0.03}{0.037} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$L_{pe} = 1.20 \times (18 \times 2 + 8 \times 2) = 62.4 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

Situação Espanhola

$$B' = \frac{144}{0.5 \times 52} = 5.54 \text{ m}$$

$$R_a = R_{\text{isolamento}} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Caso 1:

Transmissão térmica do pavimento (W/m²·°C) para a situação espanhola (caso 1) do Edifício Esquemático 1

	R_a (D ≥ 1.5)	
B'	0.50	1.00
5	0.64	0.55
6	0.57	0.50

Por interpolação e para o valor de 0.811 m²·°C/W para a resistência térmica do isolamento térmico e 5.54 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-5}{0.526-0.584} = \frac{6-5.54}{0.526-U_s} \Rightarrow U_s = 0.533 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = 0.533 \times 144 = 79.63 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

Situação Francesa

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação francesa do Edifício Esquemático 1

	$R_f (\lambda = 2.0)$	
B'	1.00	1.50
5	0.42	0.34
6	0.38	0.32

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento e 5.54 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-5}{0.348-0.378} = \frac{6-5.54}{0.348-U_e} \Rightarrow U_e = 0.362 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.362 \times 144 = 52.13 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

ISO 13370

$$d_t = 0.365 + 2.0 \times (0.17 + 1.265 + 0.04) = 3.315 \text{ m}$$

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 5.54 + 3.315} \times \ln \left(\frac{\pi \times 5.54}{3.315} + 1 \right) = 0.354 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.354 \times 144 = 50.98 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 2

$$\text{Área} = 100 \text{ m}^2$$

Situação Portuguesa

$$R_{\text{isolamento}} = \frac{0.03}{0.037} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$L_{pe} = 1.20 \times (10 \times 4) = 48.00 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Espanhola

$$B' = \frac{100}{0.5 \times 40} = 5.00 \text{ m}$$

$$R_a = R_{\text{isolamento}} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Caso 1:

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação espanhola (caso 1) do Edifício Esquemático 2

	$R_a (D \geq 1.5)$	
B'	0.50	1.00
5	0.64	0.55

Por interpolação e para o valor de $0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica do isolamento térmico, obtém-se:

$$\frac{1.00 - 0.50}{0.55 - 0.64} = \frac{1.00 - 0.811}{0.55 - U_s} \Rightarrow U_s = 0.584 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = 0.584 \times 100 = 58.40 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

Situação Francesa

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação francesa do Edifício Esquemático 2

	$R_f (\lambda = 2.0)$	
B'	1.00	1.50
5	0.42	0.34

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{1.50 - 1.00}{0.34 - 0.42} = \frac{1.50 - 1.265}{0.34 - U_e} \Rightarrow U_e = 0.378 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.378 \times 100 = 37.80 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

ISO 13370

$$d_i = 0.365 + 2.0 \times (0.17 + 1.265 + 0.04) = 3.315 \text{ m}$$

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 5.00 + 3.315} \times \ln \left(\frac{\pi \times 5.00}{3.315} + 1 \right) = 0.367 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.367 \times 100 = 36.70 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 3

$$\text{Área} = 170 \text{ m}^2$$

Situação Portuguesa

$$R_{\text{isolamento}} = \frac{0.03}{0.037} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$L_{pe} = 1.20 \times (13 + 15 + 8 + 5 + 5 + 10) = 67.20 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Espanhola

$$B' = \frac{170}{0.5 \times 56} = 6.07 \text{ m}$$

$$R_a = R_{\text{isolamento}} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Caso 1:

Transmissão térmica do pavimento (W/m²·°C) para a situação espanhola (caso 1) do Edifício Esquemático 3

	R _a (D ≥ 1.5)	
B'	0.50	1.00
6	0.57	0.50
7	0.51	0.45

Por interpolação e para o valor de 0.811 m²·°C/W para a resistência térmica do isolamento térmico e 6.07 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{7 - 6}{0.473 - 0.526} = \frac{7 - 6.07}{0.473 - U_s} \Rightarrow U_s = 0.522 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = 0.522 \times 170 = 88.74 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Francesa

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação francesa do Edifício Esquemático 3

	$R_f (\lambda = 2.0)$	
B'	1.00	1.50
6	0.38	0.32
7	0.36	0.30

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica do pavimento e 6.07 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{7-6}{0.328-0.348} = \frac{7-6.07}{0.328-U_e} \Rightarrow U_e = 0.347 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.347 \times 170 = 58.99 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

ISO 13370

$$d_t = 0.365 + 2.0 \times (0.17 + 1.265 + 0.04) = 3.315 \text{ m}$$

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 6.07 + 3.315} \times \ln \left(\frac{\pi \times 6.07}{3.315} + 1 \right) = 0.341 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.341 \times 170 = 57.97 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 4

Área = 170 m^2

Situação Portuguesa

$$R_{\text{isolamento}} = \frac{0.03}{0.037} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$L_{pe} = 1.20 \times (13 + 15 + 8 + 5 + 5 + 10) = 67.20 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

Situação Espanhola

$$B' = \frac{170}{0.5 \times 56} = 6.07 \text{ m}$$

$$R_a = R_{\text{isolamento}} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Caso 1:

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação espanhola (caso 1) do Edifício Esquemático 4

R_a ($D \geq 1.5$)		
B'	0.50	1.00
6	0.57	0.50
7	0.51	0.45

Por interpolação e para o valor de $0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica do isolamento térmico e 6.07 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{7 - 6}{0.473 - 0.526} = \frac{7 - 6.07}{0.473 - U_s} \Rightarrow U_s = 0.522 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = 0.522 \times 170 = 88.74 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

Situação Francesa

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 0.454 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$d_t = 0.365 + 2.0 \times (0.17 + 0.454 + 0.04) = 1.693 \text{ m}$$

$$(d_t < B') \Rightarrow U_c = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 6.07 + 1.693} \times \ln\left(\frac{\pi \times 6.07}{1.693} + 1\right) = 0.483 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$d' = 2.0 \times \frac{0.03}{0.037} - 0.03 = 1.592 \text{ m}$$

$$\Delta\psi = -\frac{2.0}{\pi} \times \left[\ln\left(\frac{1.5}{1.693} + 1\right) - \ln\left(\frac{1.5}{1.693 + 1.592} + 1\right) \right] = -0.164 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$U_e = 0.483 + \frac{2 \times (-0.164)}{6.07} = 0.429 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.429 \times 170 = 72.93 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

ISO 13370

$$R' = \frac{0.03}{0.037} - \frac{0.03}{2.0} = 0.796 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$d' = 0.796 \times 2.0 = 1.592 \text{ m}$$

$$\psi_{g,e} = -\frac{2.0}{\pi} \times \left[\ln\left(\frac{1.5}{1.693} + 1\right) - \ln\left(\frac{1.5}{1.693 + 1.592} + 1\right) \right] = -0.164 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$(d_t < B') \Rightarrow U_0 = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 6.07 + 1.453} \times \ln\left(\frac{\pi \times 6.07}{1.453} + 1\right) = 0.516 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U = 0.483 + \frac{2 \times (-0.164)}{6.07} = 0.429 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.429 \times 170 = 72.93 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 5

Área = 108 m²

Situação Portuguesa

$$R_{\text{isolamento}} = \frac{0.03}{0.037} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$L_{pe} = 1.20 \times (13 + 12 + 5 + 4 + 5) = 60.00 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Espanhola

$$B' = \frac{108}{0.5 \times 52} = 4.32 \text{ m}$$

$$R_a = R_{\text{isolamento}} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Caso 1:

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação espanhola (caso 1) do Edifício Esquemático 5

	$R_a (D \geq 1.5)$	
B'	0.50	1.00
5	0.64	0.55
6	0.57	0.50

Por interpolação para o valor de $0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do isolamento térmico e extrapolação para o valor de 4.32 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6 - 5}{0.526 - 0.584} = \frac{5 - 4.32}{0.584 - U_s} \Rightarrow U_s = 0.623 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = 0.623 \times 108 = 67.28 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Francesa

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação francesa do Edifício Esquemático 5

	$R_f (\lambda = 2.0)$	
B'	1.00	1.50
4	0.45	0.36
5	0.42	0.34

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento e 4.32 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{5-4}{0.378-0.402} = \frac{5-4.32}{0.378-U_e} \Rightarrow U_e = 0.394 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.394 \times 108 = 42.55 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

ISO 13370

$$d_t = 0.365 + 2.0 \times (0.17 + 1.265 + 0.04) = 3.315 \text{ m}$$

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 4.32 + 3.315} \times \ln \left(\frac{\pi \times 4.32}{3.315} + 1 \right) = 0.386 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.386 \times 108 = 41.69 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 6

Área = 144 m²

Situação Portuguesa

$$R_{\text{isolamento}} = \frac{0.03}{0.037} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{parede}} = \frac{0.15}{2.0} + 0.18 + \frac{0.03}{0.037} + 0.27 + \frac{0.015}{1.3} = 1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$U_{\text{parede}} = \frac{1}{1.347} = 0.742 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$L_{pe} = 1.20 \times (8 + 18 + 8) + 1.20 \times 18 + 1.10 \times 18 = 82.20 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Espanhola

$$B' = \frac{144}{0.5 \times 52} = 5.54 \text{ m}$$

$$R_a = R_{\text{isolamento}} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Pavimento em contacto com o terreno

Caso 1:

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) para a situação espanhola (caso 1) do Edifício Esquemático 6

$R_a (D \geq 1.5)$		
B'	0.50	1.00
5	0.64	0.55
6	0.57	0.50

Por interpolação e para o valor de $0.811 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do isolamento térmico e 5.54 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-5}{0.526-0.584} = \frac{5-5.54}{0.584-U_s} \Rightarrow U_s = 0.553 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

Caso 2:

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) para a situação espanhola (caso 2) do Edifício Esquemático 6

$R_f (2 < z \leq 3)$		
B'	0.50	1.00
5	0.34	0.31
6	0.31	0.28

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento e 5.54 m para a dimensão característica do pavimento, com $z = 2.5 \text{ m}$, obtém-se:

$$\frac{6-5}{0.294-0.324} = \frac{6-5.54}{0.294-U_s} \Rightarrow U_s = 0.308 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_m = R_{parede} = 1.347 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica da parede em contacto com o terreno ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) para a situação espanhola do Edifício Esquemático 6

	z	
R _m	2	3
1.00	0.54	0.47
1.50	0.42	0.37

Por interpolação e para o valor de $1.347 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica da parede e 2.50 m para a profundidade a que se encontra o pavimento (z), obtém-se:

$$\frac{1.50 - 1.00}{0.395 - 0.505} = \frac{1.50 - 1.347}{0.395 - U_T} \Rightarrow U_T = 0.429 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = \left(\frac{8 + 18 + 8}{52} \times 144 \right) \times 0.553 + \left(\frac{18}{52} \times 144 \right) \times 0.314 + (18 \times 2.5) \times 0.308 = 86.72 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Francesa

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) para a situação francesa do Edifício Esquemático 6

	R _f ($\lambda = 2.0$)	
B'	1.00	1.50
5	0.42	0.34
6	0.38	0.32

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento e 5.54 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6 - 5}{0.348 - 0.378} = \frac{6 - 5.54}{0.348 - U_e} \Rightarrow U_e = 0.362 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50 \text{ m}$)

$$d_i = 0.365 + 2.0 \times (0.17 + 1.265 + 0.04) = 3.315 \text{ m}$$

$$\left(3.315 + \frac{2.5}{2}\right) = 4.565 < B'$$

↓

$$U_e = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 5.54 + 3.315 + \frac{2.5}{2}} \times \ln \left(\frac{\pi \times 5.54}{3.315 + \frac{2.5}{2}} + 1 \right) = 0.286 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_w = R_{parede} = 1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$d_w = 2.0 \times (0.13 + 1.347 + 0.04) = 3.034 \text{ m}$$

$$d_w < d_t \Rightarrow U_e = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 2.5} \times \left(1 + \frac{0.5 \times 3.034}{3.034 + 2.5} \right) \times \ln \left(\frac{2.5}{3.034} + 1 \right) = 0.390 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = \left(\frac{8+18+8}{52} \times 144 \right) \times 0.362 + \left(\frac{18}{52} \times 144 \right) \times 0.286 + (18 \times 2.5) \times 0.390 = 65.89 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

ISO 13370

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 5.54 + 3.315} \times \ln \left(\frac{\pi \times 5.54}{3.315} + 1 \right) = 0.354 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50 \text{ m}$)

$$(3.315 + 0.5 \times 2.5) = 4.565 < B'$$

↓

$$U_{bf} = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 5.54 + 3.315 + 0.5 \times 2.5} \times \ln \left(\frac{\pi \times 5.54}{3.315 + 0.5 \times 2.5} + 1 \right) = 0.286 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$d_w < d_t \Rightarrow U_{bw} = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 2.5} \times \left(1 + \frac{0.5 \times 3.034}{3.034 + 2.5} \right) \times \ln \left(\frac{2.5}{3.034} + 1 \right) = 0.390 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = \left(\frac{8+18+8}{52} \times 144 \right) \times 0.354 + \left(\frac{18}{52} \times 144 \right) \times 0.286 + (18 \times 2.5) \times 0.390 = 65.14 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 7

Área = 100 m²

Situação Portuguesa

$$R_{\text{isolamento}} = \frac{0.03}{0.037} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{parede}} = \frac{0.15}{2.0} + 0.18 + \frac{0.03}{0.037} + 0.27 + \frac{0.015}{1.3} = 1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$U_{\text{parede}} = \frac{1}{1.347} = 0.742 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$L_{pe} = 1.20 \times (10 + 10 + 10) + 1.20 \times 10 + 1.10 \times (10 + 10 + 10) = 81.00 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Espanhola

$$B' = \frac{100}{0.5 \times 40} = 5.00 \text{ m}$$

$$R_a = R_{\text{isolamento}} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Pavimento em contacto com o terreno

Caso 1:

Transmissão térmica do pavimento (W/m²·°C) para a situação espanhola (caso 1) do Edifício Esquemático 7

	R _a (D ≥ 1.5)	
B'	0.50	1.00
5	0.64	0.55

Por interpolação e para o valor de $0.811 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica do isolamento térmico, obtém-se:

$$\frac{1.00 - 0.50}{0.55 - 0.64} = \frac{1.00 - 0.811}{0.55 - U_s} \Rightarrow U_s = 0.516 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

Caso 2:

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$$

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) para a situação espanhola (caso 2) do Edifício Esquemático 7

	$R_f (2 < z \leq 3)$	
B'	0.50	1.00
5	0.34	0.31

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica do pavimento, com $z = 2.5 \text{ m}$, obtém-se:

$$\frac{1.50 - 1.00}{0.31 - 0.34} = \frac{1.50 - 1.265}{0.31 - U_s} \Rightarrow U_s = 0.324 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_m = R_{parede} = 1.347 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$$

Transmissão térmica da parede em contacto com o terreno ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) para a situação espanhola do Edifício Esquemático 7

	z
R_m	3
1.00	0.47
1.50	0.37

Por interpolação e para o valor de $1.347 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica da parede, obtém-se:

$$\frac{1.50-1.00}{0.37-0.47} = \frac{1.50-1.347}{0.37-U_T} \Rightarrow U_T = 0.401 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = \left(\frac{10}{40} \times 100 \right) \times 0.516 + \left(\frac{10+10+10}{40} \times 100 \right) \times 0.324 + (30 \times 3.0) \times 0.401 = 73.29 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Francesa

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação francesa do Edifício Esquemático 7

	$R_f (\lambda = 2.0)$	
B'	1.00	1.50
5	0.42	0.34

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{1.50-1.00}{0.34-0.42} = \frac{1.50-1.265}{0.34-U_e} \Rightarrow U_e = 0.378 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50 \text{ m}$)

$$d_t = 0.365 + 2.0 \times (0.17 + 1.265 + 0.04) = 3.315 \text{ m}$$

$$\left(3.315 + \frac{3.0}{2} \right) = 4.815 < B'$$

↓

$$U_e = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 5.00 + 3.315 \frac{3.0}{2}} \times \ln \left(\frac{\pi \times 5.00}{3.315 + \frac{3.0}{2}} + 1 \right) = 0.283 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_w = R_{parede} = 1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$d_w = 2.0 \times (0.13 + 1.347 + 0.04) = 3.034 \text{ m}$$

$$d_w < d_t \Rightarrow U_e = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 3.0} \times \left(1 + \frac{0.5 \times 3.034}{3.034 + 3.0} \right) \times \ln \left(\frac{3.0}{3.034} + 1 \right) = 0.365 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = \left(\frac{10}{40} \times 100 \right) \times 0.378 + \left(\frac{10 + 10 + 10}{40} \times 100 \right) \times 0.283 + (30 \times 3.0) \times 0.365 = 63.53 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

ISO 13370

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 5.00 + 3.315} \times \ln \left(\frac{\pi \times 5.00}{3.315} + 1 \right) = 0.367 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50 \text{ m}$)

$$(3.315 + 0.5 \times 3.0) = 4.815 < B'$$

↓

$$U_{bf} = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 5.00 + 3.315 + 0.5 \times 3.0} \times \ln \left(\frac{\pi \times 5.00}{3.315 + 0.5 \times 3.0} + 1 \right) = 0.283 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$d_w < d_t \Rightarrow U_{bw} = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 3.0} \times \left(1 + \frac{0.5 \times 3.034}{3.034 + 3.0} \right) \times \ln \left(\frac{3.0}{3.034} + 1 \right) = 0.365 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = \left(\frac{10}{40} \times 100 \right) \times 0.367 + \left(\frac{10 + 10 + 10}{40} \times 100 \right) \times 0.283 + (30 \times 3.0) \times 0.365 = 63.25 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 8

Área = 170 m²

Situação Portuguesa

$$R_{parede} = \frac{0.15}{2.0} + 0.18 + \frac{0.03}{0.037} + 0.27 + \frac{0.015}{1.3} = 1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$U_{parede} = \frac{1}{1.347} = 0.742 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$L_{pe} = 0.50 \times (13 + 15) + 1.50 \times (10 + 5 + 5 + 8) + 1.10 \times (13 + 15) = 86.80 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Espanhola

$$B' = \frac{170}{0.5 \times 56} = 6.07 \text{ m}$$

$$R_a = 0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Pavimento em contacto com o terreno

Caso 1:

Transmissão térmica do pavimento (W/m²·°C) para a situação espanhola (caso 1) do Edifício Esquemático 8

	R _a
B'	0.00
6	0.74
7	0.66

Por interpolação e para o valor de 6.07 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{7 - 6}{0.66 - 0.74} = \frac{7 - 6.07}{0.66 - U_s} \Rightarrow U_s = 0.734 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Caso 2:

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 0.454 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação espanhola (caso 2) do Edifício Esquemático 8

	$R_f (1 < z \leq 2)$	
B'	0.00	0.50
6	0.48	0.41
7	0.44	0.38

Por interpolação e para o valor de $0.454 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento e 6.07 m para a dimensão característica do pavimento, com $z = 2.0 \text{ m}$, obtém-se:

$$\frac{7-6}{0.386-0.416} = \frac{7-6.07}{0.386-U_s} \Rightarrow U_s = 0.414 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_m = R_{\text{parede}} = 1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica da parede em contacto com o terreno ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação espanhola do Edifício Esquemático 8

	z
R_m	2
1.00	0.54
1.50	0.42

Por interpolação e para o valor de $1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica da parede, obtém-se:

$$\frac{1.50-1.00}{0.42-0.54} = \frac{1.50-1.347}{0.42-U_T} \Rightarrow U_T = 0.457 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = \left(\frac{13+15}{56} \times 170 \right) \times 0.414 + \left(\frac{10+5+5+8}{56} \times 170 \right) \times 0.734 + (28 \times 2.0) \times 0.457 = 123.17 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Francesa

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

$$d_i = 0.365 + 2.0 \times (0.17 + 0.454 + 0.04) = 1.693 \text{ m}$$

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 6.07 + 1.693} \times \ln \left(\frac{\pi \times 6.07}{1.693} + 1 \right) = 0.483 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50 \text{ m}$)

$$\left(1.693 + \frac{2.0}{2} \right) = 2.693 < B'$$

↓

$$U_e = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 6.07 + 1.693 + \frac{2.0}{2}} \times \ln \left(\frac{\pi \times 6.07}{1.693 + \frac{2.0}{2}} + 1 \right) = 0.384 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_w = R_{parede} = 1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$d_w = 2.0 \times (0.13 + 1.347 + 0.04) = 3.034 \text{ m}$$

$$d_w \geq d_t \Rightarrow U_e = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 2.0} \times \left(1 + \frac{0.5 \times 1.693}{1.693 + 2.0} \right) \times \ln \left(\frac{2.0}{3.034} + 1 \right) = 0.396 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = \left(\frac{13+15}{56} \times 170 \right) \times 0.384 + \left(\frac{10+5+5+8}{56} \times 170 \right) \times 0.483 + (28 \times 2.0) \times 0.396 = 95.87 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

ISO 13370

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 6.07 + 1.693} \times \ln \left(\frac{\pi \times 6.07}{1.693} + 1 \right) = 0.483 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50$ m)

$$(1.693 + 0.5 \times 2.0) = 2.693 < B'$$

\Downarrow

$$U_{bf} = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 6.07 + 1.693 + 0.5 \times 2.0} \times \ln \left(\frac{\pi \times 6.07}{1.693 + 0.5 \times 2.0} + 1 \right) = 0.384 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$d_w \geq d_t \Rightarrow U_{bw} = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 2.0} \times \left(1 + \frac{0.5 \times 1.453}{1.453 + 2.0} \right) \times \ln \left(\frac{2.0}{3.034} + 1 \right) = 0.390 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = \left(\frac{13+15}{56} \times 170 \right) \times 0.384 + \left(\frac{10+5+5+8}{56} \times 170 \right) \times 0.483 + (28 \times 2.0) \times 0.396 = 95.87 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 9

Área = 108 m²

Situação Portuguesa

$$R_{parede} = \frac{0.15}{2.0} + 0.18 + \frac{0.03}{0.037} + 0.27 + \frac{0.015}{1.3} = 1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$U_{parede} = \frac{1}{1.347} = 0.742 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$L_{pe} = 0.50 \times (13 + 12 + 5) + 1.50 \times (4 + 4 + 4 + 4 + 4) + 1.10 \times (13 + 12 + 5) = 78.00 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Espanhola

$$B' = \frac{108}{0.5 \times 50} = 4.32 \text{ m}$$

$$R_a = 0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Pavimento em contacto com o terreno

Caso 1:

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) para a situação espanhola (caso 1) do Edifício Esquemático 9

R_a	
B'	0.00
5	0.85
6	0.74

Por extrapolação e para o valor de 4.32 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-5}{0.74-0.85} = \frac{5-4.32}{0.85-U_s} \Rightarrow U_s = 0.925 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

Caso 2:

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 0.454 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) para a situação espanhola (caso 2) do Edifício Esquemático 9

$R_f (1 < z \leq 2)$		
B'	0.00	0.50
5	0.42	0.37
6	0.38	0.34

Por interpolação para o valor de $0.454 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento e extrapolação para o valor de 4.32 m para a dimensão característica do pavimento, com $z = 3.0 \text{ m}$, obtém-se:

$$\frac{6-5}{0.344-0.387} 75 = \frac{5-4.32}{0.344-U_s} \Rightarrow U_s = 0.365 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_m = R_{\text{parede}} = 1.347 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica da parede em contacto com o terreno ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação espanhola do Edifício Esquemático 9

z	
R_m	3
1.00	0.47
1.50	0.37

Por interpolação e para o valor de $1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica da parede, obtém-se:

$$\frac{1.50 - 1.00}{0.37 - 0.47} = \frac{1.50 - 1.347}{0.37 - U_T} \Rightarrow U_T = 0.401 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = \left(\frac{13 + 12 + 5}{50} \times 108 \right) \times 0.365 + \left(\frac{4 \times 5}{50} \times 108 \right) \times 0.925 + (30 \times 3.0) \times 0.401 = 99.70 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Francesa

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

$$d_t = 0.365 + 2.0 \times (0.17 + 0.454 + 0.04) = 1.693 \text{ m}$$

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 4.32 + 1.693} \times \ln \left(\frac{\pi \times 4.32}{1.693} + 1 \right) = 0.576 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50 \text{ m}$)

$$\left(1.693 + \frac{3.0}{2} \right) = 2.693 < B'$$

↓

$$U_e = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 4.32 + 1.693 + \frac{3.0}{2}} \times \ln \left(\frac{\pi \times 4.32}{1.693 + \frac{3.0}{2}} + 1 \right) = 0.396 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_w = R_{parede} = 1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$d_w = 2.0 \times (0.13 + 1.347 + 0.04) = 3.034 \text{ m}$$

$$d_w \geq d_t \Rightarrow U_e = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 3.0} \times \left(1 + \frac{0.5 \times 1.693}{1.693 + 3.0} \right) \times \ln \left(\frac{3.0}{3.034} + 1 \right) = 0.344 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = \left(\frac{13 + 12 + 5}{50} \times 108 \right) \times 0.396 + \left(\frac{4 \times 5}{50} \times 108 \right) \times 0.576 + (30 \times 3.0) \times 0.344 = 84.40 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

ISO 13370

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 4.32 + 1.693} \times \ln \left(\frac{\pi \times 4.32}{1.693} + 1 \right) = 0.576 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50 \text{ m}$)

$$(1.453 + 0.5 \times 3.0) = 2.953 < B'$$

↓

$$U_{bf} = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 4.32 + 1.693 + 0.5 \times 3.0} \times \ln \left(\frac{\pi \times 4.32}{1.693 + 0.5 \times 3.0} + 1 \right) = 0.396 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$d_w \geq d_t \Rightarrow U_{bw} = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 3.0} \times \left(1 + \frac{0.5 \times 1.693}{1.693 + 3.0} \right) \times \ln \left(\frac{3.0}{3.034} + 1 \right) = 0.344 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = \left(\frac{13 + 12 + 5}{50} \times 108 \right) \times 0.396 + \left(\frac{4 \times 5}{50} \times 108 \right) \times 0.576 + (30 \times 3.0) \times 0.344 = 81.50 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

A.26. CÁLCULO DETALHADO DAS PERDAS TÉRMICAS PELOS ELEMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO PARA OS EDIFÍCIOS REAIS E POR APLICAÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA, ESPANHOLA, FRANCESA E DA NORMA ISO 13370

Edifício Real 1

Situação Portuguesa

$$R_{isolamento} = \frac{0.03}{0.034} = 0.882 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$L_{pe} = 1.20 \times (5.40 + 19 + 5.30 + 19.10) = 58.56 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Espanhola

$$B' = \frac{101.6}{0.5 \times 48.8} = 4.16 \text{ m}$$

$$R_a = R_{isolamento} = 0.882 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Caso 1:

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação espanhola (caso 1) do Edifício Real 1

	$R_a (D \geq 1.5)$	
B'	0.50	1.00
5	0.64	0.55
6	0.57	0.50

Por interpolação e para o valor de $0.882 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do isolamento térmico e 4.16 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{1.00 - 0.50}{0.592 - 0.699} = \frac{1.00 - 0.882}{0.592 - U_s} \Rightarrow U_s = 0.617 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = 0.617 \times 101.6 = 62.69 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Francesa

$$R_f = \frac{0.04}{1.30} + \frac{0.07}{2.0} + \frac{0.03}{0.034} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.068 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$d_t = 0.30 + 2.0 \times (0.17 + 1.068 + 0.04) = 2.856 \text{ m}$$

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 4.16 + 2.856} \times \ln \left(\frac{\pi \times 4.16}{2.856} + 1 \right) = 0.431 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.431 \times 101.6 = 43.79 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

ISO 13370

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 4.16 + 2.856} \times \ln \left(\frac{\pi \times 4.16}{2.856} + 1 \right) = 0.431 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.431 \times 101.6 = 43.79 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Real 2

Situação Portuguesa

$$R_{\text{isolamento}} = \frac{0.03}{0.034} = 0.882 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$L_{pe} = 1.80 \times (54.70) = 98.46 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Espanhola

$$B' = \frac{147.61}{0.5 \times 54.7} = 5.40 \text{ m}$$

$$R_a = R_{\text{isolamento}} = 0.882 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Caso 1:

Transmissão térmica do pavimento (W/m²·°C) para a situação espanhola (caso 1) do Edifício Real 1

	R _a (D ≥ 1.5)	
B'	0.50	1.00
5	0.64	0.55
6	0.57	0.50

Por interpolação e para o valor de 0.882 m²·°C/W para a resistência térmica do isolamento térmico e 5.40 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{1.00 - 0.50}{0.530 - 0.612} = \frac{1.00 - 0.882}{0.530 - U_s} \Rightarrow U_s = 0.549 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = 0.549 \times 147.61 = 81.04 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Francesa

$$R_f = \frac{0.04}{1.30} + \frac{0.07}{2.0} + \frac{0.03}{0.034} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.068 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$d_t = 0.405 + 2.0 \times (0.17 + 1.068 + 0.04) = 2.961 \text{ m}$$

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 5.40 + 2.961} \times \ln\left(\frac{\pi \times 5.40}{2.961} + 1\right) = 0.383 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.383 \times 147.61 = 56.53 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

ISO 13370

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 5.40 + 2.961} \times \ln\left(\frac{\pi \times 5.40}{2.961} + 1\right) = 0.383 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.383 \times 147.61 = 56.53 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Real 3

Situação Portuguesa

$$R_{\text{isolamento}} = \frac{0.03}{0.034} \cdot 7 = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{parede}} = \frac{0.02}{1.30} + 0.19 + \frac{0.03}{0.037} + 0.18 + \frac{0.15}{2.0} = 1.27 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Para exterior:

$$L_{pe} = 1.80 \times 6.32 + 1.20 \times 2.33 + 1.80 \times 13.77 + 1.80 \times 4.83 + 1.10 \times (2.28 + 6.13) = 56.90 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Para locais não aquecidos:

$$L_{pe} = 1.20 \times 3.50 \times 0.60 + 1.20 \times 6.86 \times 1.00 = 10.75 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

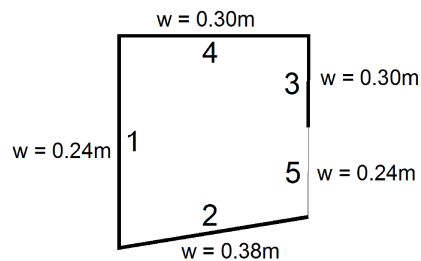
Situação Espanhola

1º Piso

$$B' = \frac{39.45}{0.5 \times 21.59} = 3.65 \text{ m}$$

$$R_a = R_{\text{isolamento}} = 0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Para uma melhor orientação nos cálculos das perdas térmicas através dos elementos situados na cave do edifício, recorreu-se à seguinte que numera as paredes e designa a espessura de cada uma delas.



Esquema das paredes da cave do edifício do Edifício Real 3

Lados das paredes 1, 2 e 5

Caso 1:

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação espanhola (caso 1 – 1º Piso) do Edifício Real 3

	$R_a (D \geq 1.5)$	
B'	0.50	1.00
5	0.64	0.55
6	0.57	0.50

Por interpolação para o valor de $0.811 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do isolamento térmico e extrapolação para o valor de 3.65 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6 - 5}{0.526 - 0.584} = \frac{5 - 3.65}{0.584 - U_s} \Rightarrow U_s = 0.662 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Para exterior:

$$U_{Tm} = 0.662 \times \frac{6.32}{24.95} \times 39.45 = 6.62 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Para locais não aquecidos:

$$U_{Tm} = 0.662 \times \frac{6.86}{24.95} \times 39.45 \times 1.0 + 0.662 \times \frac{3.36}{24.95} \times 39.45 \times 0.60 = 9.29 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Lados das paredes 3 e 4

Caso 2:

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica do pavimento (W/m².°C) para a situação espanhola (caso 2 – 1º Piso) do Edifício Real 3

	R _f (2 < z ≤ 3)	
B'	1.00	1.50
5	0.42	0.37
6	0.38	0.34

Por interpolação e para o valor de 1.265 m².°C/W para a resistência térmica do pavimento e por extrapolação para o valor de 3.65 m para a dimensão característica do pavimento, com z = 2.87 m, obtém-se:

$$\frac{6-5}{0.354-0.394} = \frac{5-3.65}{0.394-U_s} \Rightarrow U_s = 0.441 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = 0.441 \times \frac{6.13+2.28}{24.95} \times 39.45 = 5.86 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_m = R_{parede} = 1.27 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica da parede em contacto com o terreno ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) para a situação espanhola do Edifício Real 3

R_m	z	
	2	3
1.00	0.54	0.47
1.50	0.42	0.37

Por interpolação e para o valor de $1.27 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica da parede e 2.87 m para a profundidade a que se encontra o pavimento (z), obtém-se:

$$\frac{1.50 - 1.00}{0.377 - 0.479} = \frac{1.50 - 1.27}{0.377 - U_T} \Rightarrow U_T = 0.424 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = [(6.13 + 2.28) \times 2.87] \times 0.424 = 10.23 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

2º Piso

$$B' = \frac{38.45}{0.5 \times 25.24} = 3.0 \text{ m}$$

$$R_a = R_{\text{isolamento}} = 0.811 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$$

Caso 1:

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) para a situação espanhola (caso 1 – 2º Piso) do Edifício Real 3

B'	$R_a (D \geq 1.5)$	
	0.50	1.00
5	0.64	0.55
6	0.57	0.50

Por interpolação para o valor de $0.811 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do isolamento térmico e extrapolação para o valor de 3.0 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6 - 5}{0.526 - 0.584} = \frac{5 - 3.0}{0.584 - U_s} \Rightarrow U_s = 0.700 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

$$U_{Tm} = 0.700 \times 38.45 = 26.92 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Perdas térmicas totais pelos elementos em contacto com o terreno:

$$(U_{Tm})_{total} = 6.62 + 9.29 + 5.86 + 10.23 + 26.92 = 58.92 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Situação Francesa

1º Piso

$$B' = \frac{39.45}{0.5 \times 21.59} = 3.65 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Lados das paredes 1, 2 e 5

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação francesa (1º Piso) do Edifício Real 3

	$R_f (\lambda = 2.0)$	
B'	1.00	1.50
3	0.49	0.39
4	0.45	0.36

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{4 - 3}{0.402 - 0.437} = \frac{4 - 3.65}{0.402 - U_e} \Rightarrow U_e = 0.414 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Para exterior:

$$H_g = 0.414 \times \frac{6.32}{24.95} \times 39.45 = 4.14 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Para locais não aquecidos:

$$H_g = 0.414 \times \frac{6.86}{24.95} \times 39.45 \times 1.00 + 0.414 \times \frac{3.36}{24.95} \times 39.45 \times 0.60 = 5.81 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Lados das paredes 3 e 4

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50 \text{ m}$)

$$(d_t)_3 = (d_t)_4 = 0.30 + 2.0 \times (0.17 + 1.265 + 0.04) = 3.250 \text{ m}$$

$$\left(3.250 + \frac{2.87}{2} \right) = 4.685 \geq B'$$

↓

$$U_e = \frac{2.0}{0.457 \times 3.65 + 3.250 + \frac{2.87}{2}} = 0.315 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.315 \times \frac{6.13 + 2.28}{24.95} \times 39.45 = 4.19 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Paredes em contacto com o terreno

$$R_w = R_{parede} = 1.27 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$d_w = 2.0 \times (0.13 + 1.27 + 0.04) = 2.88 \text{ m}$$

$$d_w < d_t \Rightarrow U_e = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 2.87} \times \left(1 + \frac{0.5 \times 2.88}{2.88 + 2.87} \right) \times \ln \left(\frac{2.87}{2.88} + 1 \right) = 0.384 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.384 \times [(6.13 + 2.28) \times 2.87] = 9.27 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

2º Piso

$$B' = \frac{38.45}{0.5 \times 25.24} = 3.0 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.03}{0.037} + 0.30 = 1.370 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a situação francesa (2º Piso) do Edifício Real 3

	$R_f (\lambda = 2.0)$	
B'	1.00	1.50
3	0.49	0.39

Por interpolação e para o valor de $1.370 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{1.50 - 1.00}{0.39 - 0.49} = \frac{1.50 - 1.370}{0.39 - U_e} \Rightarrow U_e = 0.416 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.416 \times 38.45 = 16.00 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

Perdas térmicas totais pelos elementos em contacto com o terreno:

$$(H_g)_{total} = 4.14 + 5.81 + 4.19 + 9.27 + 16.00 = 39.41 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

ISO 13370

1º Piso

$$B' = \frac{39.45}{0.5 \times 21.59} = 3.65 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$(d_t)_1 = (d_t)_5 = 0.24 + 2.0 \times (0.17 + 1.265 + 0.04) = 3.190 \text{ m}$$

$$(d_t)_2 = 0.38 + 2.0 \times (0.17 + 1.265 + 0.04) = 3.330 \text{ m}$$

$$(d_t)_3 = (d_t)_4 = 0.30 + 2.0 \times (0.17 + 1.265 + 0.04) = 3.250 \text{ m}$$

Lados das paredes 1 e 5

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 3.65 + 3.190} \times \ln \left(\frac{\pi \times 3.65}{3.190} + 1 \right) = 0.416 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.416 \times \frac{6.86}{24.95} \times 39.45 \times 1.0 + 0.416 \times \frac{3.36}{24.95} \times 39.45 \times 0.60 = 5.84 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Lado da parede 2

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

$$(d_t < B') \Rightarrow U = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 3.65 + 3.330} \times \ln \left(\frac{\pi \times 3.65}{3.330} + 1 \right) = 0.403 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.403 \times \frac{6.32}{24.95} \times 39.45 = 4.03 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Lados das paredes 3 e 4

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50 \text{ m}$)

$$\left(3.250 + \frac{2.87}{2} \right) = 4.685 \geq B'$$

↓

$$U_e = \frac{2.0}{0.457 \times 3.65 + 3.250 + \frac{2.87}{2}} = 0.315 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.315 \times \frac{6.13 + 2.28}{24.95} \times 39.45 = 4.19 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Paredes em contacto com o terreno

$$R_w = R_{parede} = 1.27 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$d_w = 2.0 \times (0.13 + 1.27 + 0.04) = 2.88 \text{ m}$$

$$d_w < d_t \Rightarrow U_e = \frac{2 \times 2.0}{\pi \times 2.87} \times \left(1 + \frac{0.5 \times 2.88}{2.88 + 2.87} \right) \times \ln \left(\frac{2.87}{2.88} + 1 \right) = 0.384 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.384 \times [(6.13 + 2.28) \times 2.87] = 9.27 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

2º Piso

$$B' = \frac{38.45}{0.5 \times 25.24} = 3.0 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.03}{0.037} + 0.30 = 1.370 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$d_t = 0.37 + 2.0 \times (0.13 + 1.370 + 0.04) = 3.45 \text{ m}$$

$$(d_t \geq B') \Rightarrow U = \frac{2.0}{0.457 \times 3.0 + 3.45} = 0.415 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.415 \times 38.45 = 15.96 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Perdas térmicas totais pelos elementos em contacto com o terreno:

$$(H_g)_{total} = 5.84 + 4.03 + 4.19 + 9.27 + 15.96 = 39.29 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

A.27. CÁLCULO DETALHADO DAS PERDAS TÉRMICAS PELOS ELEMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO PARA OS EDIFÍCIOS ESQUEMÁTICOS E POR APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Edifício Esquemático 1

Área = 144 m²

$$B' = \frac{144}{0.5 \times 52} = 5.54 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica do pavimento (W/m²·°C) do Edifício Esquemático 1

R _f		
B'	1	2
4	0.44	0.30
6	0.38	0.27

Por interpolação e para o valor de 1.265 m²·°C/W para a resistência térmica do pavimento e 5.54 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-4}{0.351-0.403} = \frac{6-5.54}{0.351-U_e} \Rightarrow U_e = 0.363 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.363 \times 144 = 52.27 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 2

Área = 100 m²

$$B' = \frac{100}{0.5 \times 40} = 5.00 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) do Edifício Esquemático 2

B'	R_f	
	1	2
4	0.44	0.30
6	0.38	0.27

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento e 5.0 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-4}{0.351-0.403} = \frac{6-5.0}{0.351-U_e} \Rightarrow U_e = 0.377 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.377 \times 100 = 37.70 \text{ W}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 3

Área = 170 m^2

$$B' = \frac{170}{0.5 \times 56} = 6.07 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) do Edifício Esquemático 3

B'	R_f	
	1	2
6	0.38	0.27
10	0.29	0.22

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento e 6.07 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{10-6}{0.271-0.351} = \frac{10-6.07}{0.271-U_e} \Rightarrow U_e = 0.350 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.350 \times 170 = 59.50 \text{ W}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 4

Área = 170 m²

$$B' = \frac{170}{0.5 \times 56} = 6.07 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 0.454 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica do pavimento (W/m²·°C) do Edifício Esquemático 4

R _f		
B'	0	0.50
6	0.53	0.42
10	0.38	0.32

Por interpolação e para o valor de 0.454 m²·°C/W para a resistência térmica do pavimento e 6.07 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{10 - 6}{0.326 - 0.430} = \frac{10 - 6.07}{0.326 - U_e} \Rightarrow U_e = 0.428 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.428 \times 170 = 72.76 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 5

Área = 108 m²

$$B' = \frac{108}{0.5 \times 52} = 4.32 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica do pavimento (W/m²·°C) do Edifício Esquemático 5

R _f		
B'	1	2
4	0.44	0.30
6	0.38	0.27

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica do pavimento e 4.32 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-4}{0.351-0.403} = \frac{6-4.32}{0.351-U_e} \Rightarrow U_e = 0.395 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.395 \times 108 = 42.66 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 6

Área = 144 m^2

$$B' = \frac{144}{0.5 \times 52} = 5.54 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) do Edifício Esquemático 6

B'	R _f	
	1	2
4	0.44	0.30
6	0.38	0.27

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica do pavimento e 5.54 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-4}{0.351-0.403} = \frac{6-5.54}{0.351-U_e} \Rightarrow U_e = 0.363 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.363 \times \frac{8+18+8}{52} \times 144 = 34.18 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Pavimento enterrado ($z > 0.50$ m)

Transmissão térmica do pavimento enterrado ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) do Edifício Esquemático 6

B'	R_f	
	1	2
4	0.34	0.25
6	0.30	0.23

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento e 5.54 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-4}{0.281-0.316} = \frac{6-5.54}{0.281-U_e} \Rightarrow U_e = 0.289 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.289 \times \frac{18}{52} \times 144 = 14.41 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_w = \frac{0.15}{2.0} + 0.18 + \frac{0.03}{0.037} + 0.27 + \frac{0.015}{1.3} = 1.347 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica da parede em contacto com o terreno ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) do Edifício Esquemático 6

z	R_w	
	1.00	1.50
2	0.50	0.38
4	0.38	0.30

Por interpolação e para o valor de $1.347 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica da parede e 2.50 m para a profundidade a que se encontra o pavimento (z), obtém-se:

$$\frac{4-2}{0.324-0.417} = \frac{4-2.50}{0.324-U_e} \Rightarrow U_e = 0.394 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.394 \times 18 \times 2.50 = 17.73 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$(H_g)_{total} = 34.18 + 14.41 + 17.73 = 66.32 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 7

Área = 100 m²

$$B' = \frac{100}{0.5 \times 40} = 5.00 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

Transmissão térmica do pavimento (W/m²·°C) do Edifício Esquemático 7

B'	R _f	
	1	2
4	0.44	0.30
6	0.38	0.27

Por interpolação e para o valor de 1.265 m²·°C/W para a resistência térmica do pavimento e 5.0 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6 - 4}{0.351 - 0.403} = \frac{6 - 5.0}{0.351 - U_e} \Rightarrow U_e = 0.377 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.377 \times \frac{10}{40} \times 100 = 9.43 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50$ m)

Transmissão térmica do pavimento em contacto com o terreno ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) do Edifício Esquemático 7

B'	R _f	
	1	2
4	0.34	0.25
6	0.30	0.23

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento e 5.0 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-4}{0.281-0.316} = \frac{6-5.0}{0.281-U_e} \Rightarrow U_e = 0.299 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.299 \times \frac{30}{52} \times 100 = 22.43 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_w = \frac{0.15}{2.0} + 0.18 + \frac{0.03}{0.037} + 0.27 + \frac{0.015}{1.3} = 1.347 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica da parede em contacto com o terreno ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) do Edifício Esquemático 7

z	R _w	
	1.00	1.50
2	0.50	0.38
4	0.38	0.30

Por interpolação e para o valor de $1.347 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica da parede e 3.0 m para a profundidade a que se encontra o pavimento (z), obtém-se:

$$\frac{4-2}{0.324-0.417} = \frac{4-3.0}{0.324-U_e} \Rightarrow U_e = 0.369 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.369 \times 30 \times 3.0 = 33.21 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$(H_g)_{total} = 9.43 + 22.43 + 33.21 = 65.07 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 8

$$\text{Área} = 170 \text{ m}^2$$

$$B' = \frac{170}{0.5 \times 56} = 6.07 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 0.454 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) do Edifício Esquemático 8

	R_f
B'	0.50
6	0.47
10	0.35

Por interpolação e para o valor de 6.07 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{10 - 6}{0.35 - 0.47} = \frac{10 - 6.07}{0.35 - U_e} \Rightarrow U_e = 0.468 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 1.15 \times 0.468 \times \frac{10 + 5 + 5 + 8}{56} \times 170 = 45.75 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50 \text{ m}$)

Transmissão térmica do pavimento em contacto com o terreno ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) do Edifício Esquemático 8

	R_f
B'	0.50
6	0.40
10	0.30

Por interpolação e para o valor de 6.07 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{10-6}{0.30-0.40} = \frac{10-6.07}{0.30-U_e} \Rightarrow U_e = 0.398 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 1.10 \times 0.398 \times \frac{13+15}{56} \times 170 = 37.21 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_w = \frac{0.15}{2.0} + 0.18 + \frac{0.03}{0.037} + 0.27 + \frac{0.015}{1.3} = 1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Transmissão térmica da parede em contacto com o terreno (W/m²·°C) do Edifício Esquemático 8

	R _w	
z	1.00	1.50
2	0.50	0.38

Por interpolação e para o valor de 1.347 m²·°C/W para a resistência térmica da parede, obtém-se:

$$\frac{1.50-1.00}{0.38-0.50} = \frac{1.50-3.0}{0.38-U_e} \Rightarrow U_e = 0.417 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.417 \times (13+15) \times 2.0 = 23.35 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$(H_g)_{total} = 45.75 + 37.21 + 23.35 = 106.31 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Esquemático 9

Área = 108 m²

$$B' = \frac{108}{0.5 \times 50} = 4.32 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 0.454 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50$ m)

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) do Edifício Esquemático 9

	R_f
B'	0.50
4	0.57
6	0.47

Por interpolação e para o valor de 4.32 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-4}{0.47-0.57} = \frac{6-4.32}{0.47-U_e} \Rightarrow U_e = 0.554 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 1.15 \times 0.554 \times \frac{4 \times 5}{50} \times 108 = 27.52 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50$ m)

Transmissão térmica do pavimento em contacto com o terreno ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) do Edifício Esquemático 9

	R_f
B'	0.50
4	0.42
6	0.36

Por interpolação e para o valor de 4.32 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-4}{0.36-0.42} = \frac{6-4.32}{0.36-U_e} \Rightarrow U_e = 0.410 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 1.10 \times 0.410 \times \frac{13+12+5}{50} \times 108 = 29.22 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_w = \frac{0.15}{2.0} + 0.18 + \frac{0.03}{0.037} + 0.27 + \frac{0.015}{1.3} = 1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Transmissão térmica da parede em contacto com o terreno ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) do Edifício Esquemático 9

	R_w	
z	1.00	1.50
2	0.50	0.38
4	0.38	0.30

Por interpolação e para o valor de $1.347 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica da parede e 3.0 m para a profundidade a que se encontra o pavimento (z), obtém-se:

$$\frac{4-2}{0.324-0.417} = \frac{4-3.0}{0.324-U_e} \Rightarrow U_e = 0.369 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.369 \times (13 + 12 + 5) \times 3.0 = 33.21 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

$$(H_g)_{total} = 27.52 + 29.22 + 33.21 = 89.95 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

A.28. CÁLCULO DETALHADO DAS PERDAS TÉRMICAS PELOS ELEMENTOS EM CONTACTO COM O TERRENO PARA OS EDIFÍCIOS REAIS E POR APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Edifício Real 1

$$\text{Área} = 101.6 \text{ m}^2$$

$$B' = \frac{101.6}{0.5 \times 48.8} = 4.16 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.04}{1.30} + \frac{0.07}{2.0} + \frac{0.03}{0.034} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.068 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) do Edifício Real 1

B'	R _f	
	1	2
4	0.44	0.30
6	0.38	0.27

Por interpolação e para o valor de $1.068 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência térmica do pavimento e 4.16 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-4}{0.373-0.430} = \frac{6-4.16}{0.373-U_e} \Rightarrow U_e = 0.425 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.425 \times 101.6 = 43.18 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

Edifício Real 2

$$\text{Área} = 147.61 \text{ m}^2$$

$$B' = \frac{147.61}{0.5 \times 54.7} = 5.40 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.04}{1.30} + \frac{0.07}{2.0} + \frac{0.03}{0.034} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.068 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) do Edifício Real 2

B'	R_f	
	1	2
4	0.44	0.30
6	0.38	0.27

Por interpolação e para o valor de $1.068 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento e 5.40 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{6-4}{0.373-0.430} = \frac{6-5.40}{0.373-U_e} \Rightarrow U_e = 0.390 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

$$H_g = 0.390 \times 147.61 = 57.57 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Edifício Real 3

1º Piso

$$B' = \frac{39.45}{0.5 \times 21.59} = 3.65 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.15}{2.0} + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.04}{2.0} + \frac{0.20}{2.0} = 1.265 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$$

Pavimento apoiado no terreno ($z \leq 0.50 \text{ m}$)

Transmissão térmica do pavimento ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) do Edifício Real 3

B'	R_f	
	1	2
3	0.48	0.32
4	0.44	0.30

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$ para a resistência térmica do pavimento e 3.65 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{4-3}{0.403-0.438} = \frac{6-3.65}{0.403-U_e} \Rightarrow U_e = 0.415 \text{ W/m}^2.\text{°C}$$

Para exterior:

$$H_g = 0.415 \times \frac{6.32}{24.95} \times 39.45 = 4.15 \text{ W/°C}$$

Para locais não aquecidos:

$$H_g = 0.415 \times \frac{6.86}{24.95} \times 39.45 \times 1.00 + 0.415 \times \frac{3.36}{24.95} \times 39.45 \times 0.60 = 5.82 \text{ W/°C}$$

Pavimento em contacto com o terreno ($z > 0.50 \text{ m}$)

Transmissão térmica do pavimento em contacto com o terreno ($\text{W/m}^2.\text{°C}$) do Edifício Real 3

R _f		
B'	1	2
3	0.37	0.27
4	0.34	0.25

Por interpolação e para o valor de $1.265 \text{ m}^2.\text{°C/W}$ para a resistência térmica do pavimento e 3.65 m para a dimensão característica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{4-3}{0.316-0.344} = \frac{4-3.65}{0.316-U_e} \Rightarrow U_e = 0.326 \text{ W/m}^2.\text{°C}$$

$$H_g = 0.326 \times \frac{6.13+2.28}{24.95} \times 39.45 = 4.34 \text{ W/°C}$$

Parede em contacto com o terreno

$$R_w = \frac{0.02}{1.30} + 0.19 + \frac{0.03}{0.037} + 0.18 + \frac{0.15}{2.0} = 1.27 \text{ m}^2.\text{°C/W}$$

Transmissão térmica da parede em contacto com o terreno (W/m².°C) do Edifício Real 3

R _w		
z	1.00	1.50
2	0.50	0.38
4	0.38	0.30

Por interpolação e para o valor de 1.27 m².°C/W para a resistência térmica da parede e 2.87 m para a profundidade a que se encontra o pavimento (z), obtém-se:

$$\frac{4-2}{0.337-0.435} = \frac{4-2.87}{0.337-U_e} \Rightarrow U_e = 0.392 \text{ W/m}^2.\text{°C}$$

$$H_g = 0.392 \times (6.13 + 2.28) \times 2.87 = 9.46 \text{ W/°C}$$

2º Piso

$$B' = \frac{38.45}{0.5 \times 25.24} = 3.0 \text{ m}$$

$$R_f = \frac{0.02}{0.29} + 0.19 + \frac{0.03}{0.037} + \frac{0.15}{2.0} = 1.163 \text{ m}^2.\text{°C/W}$$

Transmissão térmica do pavimento (W/m².°C) do Edifício Real 3

R _f		
B'	1	2
3	0.48	0.32

Por interpolação e para o valor de 1.370 m².°C/W para a resistência térmica do pavimento, obtém-se:

$$\frac{2-1}{0.32-0.48} = \frac{2-1.370}{0.32-U_e} \Rightarrow U_e = 0.421 \text{ W/m}^2.\text{°C}$$

$$H_g = 0.421 \times 38.45 = 16.19 \text{ W/°C}$$

$$(H_g)_{total} = 9.97 + 4.34 + 9.46 + 16.19 = 39.96 \text{ W/°C}$$

